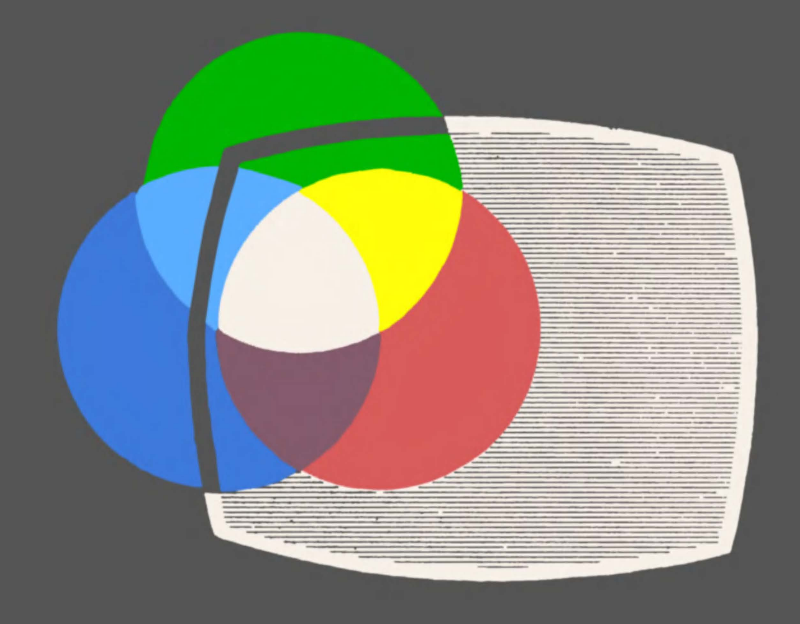




А. С. БЕРНШТЕЙН

КАК РАБОТАЕТ КИНЕСКОП

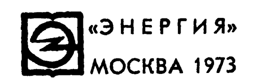


МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

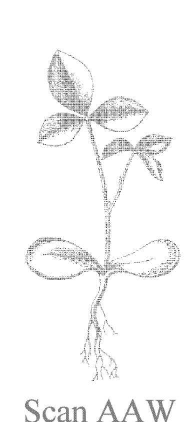
Выпуск 821

А. С. БЕРНШТЕЙН

КАК РАБОТАЕТ КИНЕСКОП?



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1973



6Ф2.9
Б51
УДК 621.397.331.2

Бернштейн А. С.

Б 51 Как работает кинескоп? М., «Энергия», 1973

56 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 821).

В книге в популярной форме рассказывается о том, как на экране телевизора создается изображение и почему оно является движущимся; как устроены и работают современные кинескопы черно-белого и цветного изображения.

Книга рассчитана на широкий круг радиолюбителей.

Б $\frac{0345\text{-}128}{051(01)\text{-}73}$ 371-72 **6Ф2.9**

АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ БЕРНШТЕЙН

КАК РАБОТАЕТ КИНЕСКОП?

Редактор **В. Ф. Костиков**

Редактор издательства **В. А. Абрамов**

Обложка художника **А. А. Иванова**

Технический редактор **Т. Н. Хромова**

Сдано в набор 4/VII 1972 г. Подписано к печати 9/I 1973 г. Т-00820
Формат 84×108$^{1}/_{32}$ Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 2,94 Уч.-изд. л. 4,26
Тираж 75 000 экз. Зак. 497. Цена 18 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б

ПРЕДИСЛОВИЕ

Телевидение в Советском Союзе развивается поистине гигантскими темпами. Если в 1954 г. в нашей стране работали только три телецентра (в Москве, Ленинграде и Киеве), то сейчас количество телецентров достигло нескольких сотен. Широкое развитие сети кабельных и радиорелейных ретрансляционных линий и применение искусственных спутников Земли в качестве ретрансляторов привели к тому, что теперь практически в каждой семье, будь то в крупном городе или в лесной деревушке, телевизор является привычной и неотъемлемой частью нашего быта. Уже никого не удивляет, что передачи Московского телецентра смотрят во Владивостоке, а жители приволжских сел видят на своих экранах спортивные соревнования, происходящие на других континентах.

О развитии современной радиотехники и электроники, в том числе телевидения, написано немало популярных статей и книг. Но ведь фактически и. телепередатчики и телевизоры создаются и работают для того, чтобы получить изображение на экране кинескопа. Кинескоп — не только важнейшая часть телевизора, но и сам по себе достаточно сложный и интересный прибор. К сожалению, популярная литература о кинескопах до сих пор практически отсутствует.

Предлагаемая книга должна в какой-то степени восполнить этот пробел. Автор поставил перед собой задачу достаточно просто и понятно рассказать о принципах действия кинескопа, о происходящих в кинескопе процессах, а также о тех конструктивных поисках и находках, которые обеспечили получение высококачественного изображения на экране современного кинескопа.

Рассказывая о кинескопах цветного телевидения, автор счел необходимым уделить большое внимание основам цветного зрения и законам получения цветного изображения методом сложения цветов, используемым в современных цветных кинескопах, так как эти вопросы сравнительно редко рассматриваются в популярной литературе по радиоэлектронике.

Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность инженерам Л. В. Вайнштейну и Т. А. Новиковой, сделавшим ряд ценных указаний при просмотре рукописи.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Как создается изображение

Итак, перед нами экран телевизора. На экране — хоккейный матч, или лекция, или кинофильм. Один сюжет сменяется другим. Шайба влетает в ворота, волны разбиваются о скалы Тихоокеанского побережья, гигантская ракета взлетает в Космос. Живая, яркая информация обо всем интересном в мире — перед нашими глазами, в нашей комнате.

На этом экране можно даже видеть то, что происходит на другом конце земного шара сейчас, вот в эту самую секунду! В кино этого не увидишь. А как все это получается? Почему мы вообще видим что-то на нашем волшебном экране в движении, как в кино? И почему, если вглядеться в изображение на экране, оно все как бы разлиновано тонкими горизонтальными полосками?

Попробуем во всем этом разобраться.

Почему изображение можно передавать и принимать только последовательно

Можно ли мгновенно что-нибудь нарисовать? Нет, конечно, вы и сами это знаете. А можно ли моментально рассмотреть то, что вы увидели? Тоже нет. Можно сразу *узнать* что-то, уже знакомое: круг, квадрат, лицо приятеля или Большой театр. Но узнать то, что перед вами, еще не значит рассмотреть. Даже те предметы или картины, которые мы видели много раз, не рассмотрены нами во всех подробностях. Нам запомнилось только самое основное, общее впечатление.

Когда мы смотрим на любые предметы в натуре, или на рисунке, или картине, наш взгляд перемещается по ним, причем перемещение начинается с тех мест, которые особенно интересны или, как говорится, «сами бросаются в глаза». Если попробовать нанести на рассмотренную картину тот путь, по которому перемещался наш взгляд, то получится какой-то хаос из кривых, пересекающихся запутанных линий. Некоторые места картины, оказывается, вообще не привлекали нашего внимания, и мы на них не смотрели. Путь взгляда другого человека по той же самой картине окажется совершенно иным. Этот человек разглядит то, что вы пропустили, и не заметит мест, внимательно рассмотренных вами. Когда художник начинает рисовать, он сначала наносит на бумагу самые важные места рисунка, самые основные его контуры, а потом уже все остальное. И его рука с карандашом движется по бумаге тоже по каким-то странным, из-

вилистым путям, повинуясь его желанию, т. е. сигналам, идущим к руке от самой сложной известной нам думающей машины — человеческого мозга.

Бросив взгляд на знакомое изображение, вы его сразу узнаете. Но вот перед вами страница книги, читанной-перечитанной или еще незнакомой. Можете ли вы, только *взглянув* на страницу, сказать, о чем в ней говорится? Нет, страницу придется прочитать, буква за буквой, слово за словом, *строчка за строчкой*. При этом наш взгляд уже не мечется хаотически, а пробегает путь по прямым линиям строчек.

Можно ли рассматривать любое изображение тоже так, последовательно, по линиям-строчкам? Можно, но скучно, да и не очень понятно: первая сверху строчка, например: небо, небо, небо, верхушка ели, опять небо до конца; вторая строчка — небо, небо, побольше верхушка ели, небо, ветка еще какого-то дерева, опять небо до конца... и т. д. Если так разглядывать картину, то сразу, пожалуй, и не поймешь, что же на ней изображено.

Может быть, вы когда-нибудь перерисовывали понравившуюся вам картинку. Для этого нужно картинку разграфить на клетки, затем разделить лист бумаги на такое же количество клеток и постепенно перерисовывать изображение по кусочкам, клетку за клеткой. При этом неизбежно приходится рисовать именно клетку за клеткой *последовательно*; сначала «интересные» клетки, а потом уже остальные рисовать нельзя.

Если вы занимались таким перерисовыванием, то, наверное, заметили, что чем меньше каждая клеточка и, значит, чем больше клеток на весь рисунок, тем легче сделать вашу копию похожей на оригинал.

А что такое изображение (пока мы будем говорить только об одноцветном или, как часто говорят, черно-белом. О цветном изображении речь пойдет впереди)? Любое черно-белое изображение, будь то рисунок карандашом на бумаге или мелом на доске, любительский фотоснимок или иллюстрация в журнале, — все это какие-то определенные сочетания темных, менее темных и светлых участков. Каждая такая совокупность темных и светлых участков и создает в нашем мозгу представление о том, что изображено.

Сочетание темных и светлых участков может оказаться уже знакомым нашему мозгу, нашей памяти или встретиться впервые. В одном случае мы думаем:

— А, это — Большой театр!

В другом случае:

— Нет, я не знаю, что это за здание.

И вот — телевидение.

Телевизионный передатчик должен «разглядеть» находящееся перед ним изображение и превратить его в радиоволны, т. е. в электромагнитные сигналы. Телевизор должен принять эти сигналы и снова создать из них изображение точно такое же, на какое «смотрит» передатчик.

У телевизионного передатчика нет мозга и памяти. Изображения, которые появляются перед передатчиком ежедневно, например заставки передач «Интервидение» или «Время», не вызывают у него никаких воспоминаний. Единственное, на что способен передатчик — это различать яркость предметов. Но он не может различать *очертания* тех темных и светлых участков, из которых состоит изображение. Передатчику безразлично, что перед ним находится — лист

серой бумаги или пол-листа белой и пол-листа черной бумаги. Нам нужно чтобы телепередатчик в каждом изображении «разглядел» все до тонкостей, чтобы он передал все детали изображения. Нам нужно, чтобы телевизор все это принял и точно скопировал то, что находится перед передатчиком.

Когда мы смотрим на экран телевизора, наш взгляд блуждает по изображению на экране, как и всегда, хаотично; взгляды других членов вашей семьи блуждают по экрану тоже хаотично, но иными путями. Короче говоря, каждый из десятков миллионов телезрителей воспринимает изображение немножко по-своему.

Мы не способны *мгновенно* рассмотреть изображением целиком, во всех его деталях. Поэтому телепередатчик может рассматривать передаваемое изображение *постепенно*. А так как никогда не известно, какая часть изображения кого из телезрителей заинтересует больше всего, то для телепередатчика должны быть одинаково важны все места изображения. Поэтому телепередатчик, «рассматривая» изображение постепенно, должен его рассматривать и *последовательно*, в каком-то строго определенном порядке, не пропуская ничего.

Изображение создается по строчкам

Телепередатчик умеет только различать яркость. Это значит, что он вырабатывает сигналы разной величины в зависимости от освещения предмета. Самая большая величина сигнала будет тогда, когда передатчик «видит» что-то белое. Сигнал от светло-серого меньше, от темно-серого еще меньше, а от черного отсутствует.

Вспомним о клетках, по которым можно перерисовывать картинки. Чем больше клетка, тем больше линий карандашом придется сделать в ее пределах и тем труднее сохранить полное сходство копии с оригиналом. Но представим себе, что картинка разбита на крошечные клетки, каждая размером с острие карандаша. Тогда в пределах одной клетки карандаш вообще не должен будет двигаться — он просто ставит точку. При этом любая линия будет получаться из цепочки точек, а любое темное место — из большого количества точек, поставленных вплотную одна к другой.

Так как телепередатчик неспособен различать очертания светлых и темных участков изображения, то единственная возможность для него увидеть что перед ним находится, — это рассматривать не все изображение сразу, а поочередно, клетку за клеткой. При этом размер каждой клетки должен быть настолько мал, чтобы он стал примерно равен размеру самого тонкого штриха передаваемого изображения.

Представим себе, что передатчик «рассматривает» картину по строчкам из клеток, как мы пытались рассказать несколько страниц назад: небо, небо, верхушка ели... Такие клетки слишком крупны для передатчика: он не может дать сигнал о том, что «видит» верхушку ели, он «увидит» только, что нечто частично загородило небо, т. е. данная клетка темнее соседних. Тогда он выработает более слабый сигнал, и в результате на экране телевизора мы увидим не верхушку ели, а более темное небо.

Но если клетки в горизонтальном ряду (строчке) будут настолько маленькими, что одна клетка будет целиком занята самым верхним концом самой верхней иголки самой верхней ветки верхушки

елки, то, «глядя» на эту черную клетку, передатчик ничего не «увидит» и сигнал будет отсутствовать. Значит, в передаваемых сигналах будет разница между «небом» и «концом иголки», и поэтому на экране телевизора мы увидим этот кончик иголки. Когда же передатчик «просмотрит» все клетки, на которые разделено изображение, то мы увидим на экране всю ель целиком и во всех подробностях.

Телевизионный передатчик устроен очень сложно. Самым сложным и самым главным его устройством является светочувствительный «глаз» — передающая электроннолучевая трубка, дальняя родственница нашего кинескопа. В нашей книге нет места для рассказа о том, как работает такая трубка. Для нас важно то, что этот «глаз» передатчика действительно рассматривает то, что находится перед ним (картину, мультфильм или поле стадиона) — *последовательно* и в каждый момент времени «видит» не все изображение, а только одну его клетку. Все соседние клетки одного ряда образуют строку, как буквы и слова в книге. Просмотрев одну за другой все клетки (или, как говорят специалисты, «элементы разложения изображения») в одной строке, передатчик начинает рассматривать клетки следующей строки и от каждой клетки передает сигнал. Разница в сигналах от соседних клеток тем больше, чем больше разница в их яркости.

Когда мы читаем, мы не рассматриваем каждую букву (их очертания давно нам знакомы), а сразу их узнаем. Но когда мы учились читать, приходилось вглядываться в каждую букву и вспоминать, какой звук она означает.

Глаз передатчика тоже не останавливается на каждой клеточке: ему не надо рассматривать, что в ней изображено — это либо свет, либо тьма, либо нечто среднее между ними. Поэтому глаз скользит безостановочно вдоль строки. Затем крохотная пауза, и глаз перебрасывается с конца этой строки на начало следующей точно так же, как и наш взгляд при чтении книги. «Досмотрев» последнюю строку до конца, глаз передатчика перебрасывается снова на начало первой строки и начинает ее вновь «просматривать».

Чем меньше размер каждой клетки, тем больше их в каждой строке (от левого до правого края изображения) и тем больше самих строк (от верха до низа изображения). Следовательно, тем более мелкие подробности изображения «разглядит» передатчик, тем четче и подробнее будет изображение на экране телевизора, тем более оно будет похоже на то, что находится перед «глазом» передатчика.

Сейчас в Советском Союзе и в большинстве других стран изображение «разлиновывается» на 625 строк и состоит почти из миллиона клеток — элементов разложения.

Как получается движущееся изображение

Ранее мы говорили о том, что телевизионный передатчик «рассматривает» то, что находится перед ним, постепенно клетка за клеткой, строка за строкой. Почему же мы видим на экране целое изображение, и как бы ни приглядывались, не сможем заметить ни одного «элемента разложения»?

Дело в том, что в каждый момент времени в телевизор приходит сигнал только от одного «элемента», но каждый такой момент длится всего одну *пятнадцатимиллионную* долю секунды. А у наших глаз есть такое свойство — «световая инерция»: любое изображение в глазах сохраняется в течение одной *десятой* доли секунды. Поэтому более быстрых движений мы не видим, например нам не видны спицы в колесах едущего велосипеда.

Если телепередатчик «просмотрит» все клетки и строки изображения за время, меньшее одной десятой доли секунды, то глаза будут продолжать видеть изображение в первой клетке первой строки (и, конечно, изображения во всех последующих клетках) все то время, которое пройдет до прихода сигнала последней клетки последней строки. Поэтому нам кажется, что весь экран телевизора светится одновременно.

В современном телевидении все клетки изображения «просматриваются» одна за другой за $^1/_{25}$ *сек*. При этом на экране современного телевизора с размером по диагонали 59 *см* («Рубин-106», «Электрон», «Таурас», «Темп-7М» и др.) каждая строчка «прочерчивается» со скоростью 27 тыс. *км/ч*!

Мы привыкли, что изображение на экране телевизора, как и в кино, является движущимся. Достигнуть этого оказалось возможным благодаря той же самой световой инерции глаз.

Вспомним, как устроено кино. Кинолента состоит из отдельных изображений — кадров. Каждый кадр короткое время стоит неподвижно перед лампой кинопроектора и проецируется на экран. Затем лампа проектора перекрывается заслонкой-обтюратором и в это время кадр сменяется следующим. После смены кадра обтюратор вновь открывает лампу, и на экран проецируется новый кадр. Кадры сменяются столь быстро, что глаза не замечают их смены и нам кажется (опять только кажется), что на экране плавно, так же как и в жизни, двигаются люди, колышатся листья, плещется вода. На самом же деле каждый последующий кадр немного отличается от предыдущего.

Движение на экране телевизора создается точно так же. Только каждый кадр проецируется не сразу, а просматривается последовательно, по клеткам и строкам.

Теперь нам предстоит разобраться в том, как непрерывная вереница сигналов телепередатчика, попадая в телевизионный приемник, создает изображение на экране. Иначе говоря, попробуем понять, что происходит в кинескопе.

ГЛАВА ВТОРАЯ

«Электронный карандаш»

Для того чтобы на экране кинескопа появилось изображение, необходимо что-то вроде «карандаша», способного быстро прочертить на экране строку за строкой. След этого «карандаша» на экране должен быть видимым и исчезать к моменту возврата «карандаша» в данную точку экрана при каждом следующем кадре. Необходимо, наконец, чтобы «карандаш» во время прочерчивания строки по экрану мог по мере надобности изменять свой «нажим», чтобы на экране получалось нужное чередование различных по яркости участков, из которых слагается изображение.

Как рисует солнечный луч

Вспомним два развлечения нашего детства. Если взять двояковыпуклое стекло (лупу) и направить ее на солнце, а за лупой положить лист бумаги, то на нем появится яркий кружок. Изменяя расстояние между лупой и бумагой, мы меняем размеры кружка. При каком-то определенном расстоянии светлый кружок превращается в точку ослепительной яркости и лист бумаги в этом месте начинает дымиться. Если взять вместо бумаги дощечку или кусок фанеры, то можно, постепенно передвигая лупу, выжечь любой рисунок.

Это происходит потому, что двояковыпуклое стекло так преломляет параллельные лучи солнца, что они сходятся в точку на каком-то расстоянии за лупой. Это расстояние называется фокусным расстоянием и зависит от кривизны поверхностей стекла лупы и от сорта стекла.

Чем точнее сделана лупа, тем меньше размеры светящейся точки, она светится ярче, лист бумаги или фанеры обугливается быстрее и линии выжигаемого рисунка получаются тоньше.

Вспомним и другое развлечение — пускать «солнечные зайчики» с помощью зеркальца. Солнечный свет, падая на поверхность зеркала, отражается, причем угол падения лучей света на зеркало равен углу отражения их от зеркала. Поворачивая зеркальце, мы меняем угол падения солнечных лучей на него. При этом меняется и угол отражения, а в результате солнце, отраженное в зеркале (наш «солнечный зайчик»), бегает по стенам комнаты, повторяя движения руки, держащей зеркальце.

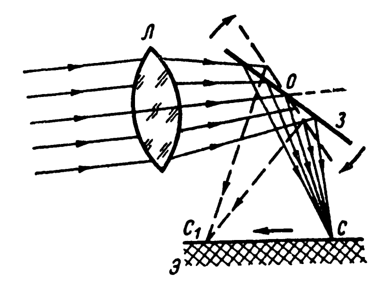


Рис. 1. Получение светящейся линии с помощью лупы и зеркала.

Л — лупа; *З* — зеркало; *Э* — экран (лист бумаги); *О* — ось зеркала.
При повороте зеркала вокруг оси *О* сфокусированный пучок лучей перемещается по экрану *Э* из точки *С* в точку C_1. Быстрое вращение зеркала создает впечатление сплошной светящейся линии $C—C_1$. Длина пути лучей от лупы до экрана равна фокусному расстоянию лупы.

Эти два детских развлечения показывают нам очень важные явления: *фокусировку* и *отклонение* световых лучей.

Если на пути идущих от лупы солнечных лучей установить зеркало, а отраженные от него лучи сфокусировать на листе бумаги и затем поворачивать это зеркало вправо и влево (рис. 1), то перемещаться по бумаге будет не размытый солнечный зайчик, а светящаяся точка. При очень быстрых поворотах зеркала из-за световой инерции глаза, о которой уже говорилось в предыдущей главе, мы будем видеть на бумаге не движущуюся точку, а светящуюся линию — строку. Можно повертывать зеркало не только вправо-влево (как говорят специалисты, «вокруг вертикальной оси»), но и вверх-вниз («вокруг горизонтальной оси»). Тогда светящаяся точка также будет двигаться как вправо-влево, так и вверх-вниз. Если поворачивать зеркальце вниз так мед-

ленно, чтобы за время передвижения луча по бумаге слева направо он успевал отклониться вниз совсем ненамного — на свою собственную ширину, то в следующий пробег слева направо луч пройдет путь ниже, чем в предыдущий, и прочертит следующую строку. Можно воспользоваться двусторонним зеркалом, вращая его непрерывно в одну сторону. Тогда одна строка будет прочерчена на бумаге за полоборота зеркала, а за полный оборот — две строки.

Заменим солнце яркой проекционной лампой, а лист бумаги — матовым стеклом, и вот, казалось бы, появилось именно то, что требуется: экран, на котором луч лампы чертит тонкие светящиеся линии — строчки.

Но для телевидения такая система не годится. Ведь для приема телевизионных изображений, передаваемых по телевизионному стандарту СССР, необходимо прочерчивать на экране 625 строк за каждую $^1/_{25}$ долю секунды, т. е. 15 625 строк в секунду. Наше двустороннее зеркало должно при этом делать 7812,5 оборота в секунду, или 468 750 оборотов в минуту! Вращать зеркало с такой скоростью невозможно, и, таким образом, для нужных нам скоростей *механические* способы отклонения луча совершенно непригодны.

Кроме того, мы забыли еще об одном требовании к нашему «карандашу»: яркость свечения экрана в каждой точке должна непрерывно изменяться в соответствии с приходящим от телепередатчика сигналом. Количество точек — элементов разложения изображения — около тысячи в каждой строке. Это означает, что световой луч должен менять свою яркость примерно 15 миллионов раз в секунду! Механически, вводя на пути луча какую-то полупрозрачную заслонку, такую скорость создать нельзя. Можно, правда, изменять напряжение накала лампы, но это не даст никакого эффекта; в нашей электросети напряжение меняется всего 50 раз в секунду, а свет лампы не мигает, так как раскаленная спираль лампы не успевает за это время заметно остыть. Нам же нужно, чтобы лампа мигала заметно, да еще не 50 раз в секунду, а 15 000 000 раз!

Поэтому телевидение стало возможным только после многих величайших физических открытий, которые обеспечили создание новых, не световых лучей и новых, не механических способов управления такими лучами.

Источник электронов

Изобретенные нашим соотечественником А. Н. Лодыгиным и усовершенствованные Эдисоном электрические лампы накаливания сразу стали популярными. Изобретатели и конструкторы непрерывно работали над их дальнейшим усовершенствованием и в первую очередь над увеличением их яркости и долговечности. Одним из важнейших усовершенствований явилась замена угольной нити накала на вольфрамовую. Однако перегорали лампы по-прежнему довольно быстро.

В то время (в конце прошлого и в начале двадцатого века) электросеть в большинстве городов работала не на переменном токе, как сейчас, а на постоянном. Исследуя причины быстрого перегорания ламп, ученые установили, что перегорает всегда конец нити, подсоединенный к *положительному* проводу сети постоянного тока. Исследования показали, что из раскаленной вольфрамовой нити накала вылетает большое количество элементарных отрицательно заряженных частиц — электронов. Так как электроны заряжены отри-

цательно, то они притягиваются к положительным электродам. А в лампе накаливания, работающей на постоянном токе, самым положительным является именно кончик нити, присоединенный к плюсовому проводу. Этот конец подвергался интенсивной *электронной бомбардировке* с разных участков нити накала и в первую очередь с противоположного конца нити накала, подсоединенного к отрицательному проводу сети. Электронная бомбардировка постепенно разрушала вольфрамовую нить у ее положительного конца, нить обрывалась, лампа перегорала.

Так, совершенно случайно, как и многие другие выдающиеся открытия, был найден простой способ получения электронов из нагретых металлов — термоэлектронная эмиссия. Сами электроны были открыты незадолго до этого. И хотя до сих пор многое в отношении электронов неясно (неизвестно, например, как они устроены), их свойства изучены очень хорошо. Развилась специальная область физики — электроника; в последние десятилетия в большинстве стран быстро развивается электронная промышленность, выпускающая самые различные приборы.

Каждый электрон обладает электрическим зарядом. Поэтому количеством электронов, направлением и скоростью их полета можно легко и просто управлять с помощью электрических и магнитных устройств. Масса электронов настолько ничтожна, что явлениями инерции для них можно пренебречь, а для придания электронам огромных скоростей требуется совсем немного энергии. Оба эти свойства сделали возможным появление радиотехники и телевидения.

В кинескопе для получения изображения на экране используется вместо луча света поток электронов — электронный луч. В отличие от светового луча, которым, как мы убедились, нельзя управлять достаточно гибко и, главное, достаточно быстро, электронным лучом легко и просто управлять с любой требуемой скоростью. С этим нам и предстоит теперь познакомиться.

Источником света является солнце или лампа. Источником электронов является электрод, который называется катодом. Раскаленная вольфрамовая нить недолго применялась в качестве источника электронов. Такой катод оказался неэкономичным и не давал возможности получить достаточно большое количество электронов с малого участка поверхности.

В электроннолучевых трубках, в том числе и в кинескопах, применяются так называемые оксидные катоды. Такой катод представляет собой никелевый стаканчик, донышко которого снаружи покрыто углекислыми солями металлов бария, стронция и кальция. Внутри стаканчика расположена крохотная спираль — подогреватель, нагревающий катод до температуры, при которой начинается эмиссия электронов.

В процессе изготовления из кинескопа тщательно откачивается воздух (давление внутри готового кинескопа не превышает одну миллиардную долю атмосферного давления). Когда воздух из кинескопа удален, на подогреватель подают постепенно возрастающее напряжение накала, и катод нагревается до температуры свыше 1 000 °С. При такой температуре углекислые соли покрытия катода превращаются в окислы, а окислы частично разлагаются на кислород, который откачивают из кинескопа, и чистый металл. В результате на наружной поверхности донышка катода образуется сложная смесь окислов и чистых металлов бария, стронция и кальция.

В процессе работы кинескопа напряжение на подогревателе (обычно 6,3 *в*) обеспечивает температуру катода в пределах 800—850 °С. При этой температуре слой окислов («оксидов» — отсюда и название «оксидный катод»), смешанных с чистыми металлами, способен выделять необходимое количество электронов в течение нескольких тысяч часов.

Катод в кинескопе обычно нельзя увидеть, так как он вставлен в управляющий электрод — модулятор, с которым мы познакомимся позже. Внутри горловины кинескопа, у самого ее конца, иногда можно увидеть раскаленную спиральку, которую часто принимают за катод. На самом деле — это подогреватель катода.

Карандаш надо остро заточить

Тупым карандашом нельзя провести на бумаге тонкую линию, нарисовать что-нибудь мелкое. Тот «карандаш», который должен создавать изображение на экране кинескопа, тоже должен быть «остро заточен», иначе изображение получится расплывчатым или, как говорят, нерезким.

В предыдущей главе уже упоминалось о том, что из кинескопа тщательно откачивают воздух. Из каждых 1 000 000 000 молекул воздуха в кинескопе может остаться только одна, остальные 999 999 999 должны быть удалены при помощи специальных насосов и газопоглотителей. Для чего это делают?

Представим себе, что крохотные легкие электроны попытались покинуть катод и выйти в кинескоп, из которого не удален воздух. Такой кинескоп туго набит огромными и тяжелыми по сравнению с электронами молекулами газов. Каждая такая молекула массивнее электрона в десятки тысяч раз, и все они находятся в непрерывном хаотическом движении, носятся, сталкиваются друг с другом и разлетаются от таких толчков в разные стороны. Эти гиганты буквально и шагу не дадут ступить электронам, затолкают и лишат всякой возможности двигаться.

Удалить воздух из кинескопа необходимо еще и потому, что всякий катод способен испускать электроны только в сильно нагретом состоянии. На воздухе же любой металл в раскаленном состоянии быстро окисляется или даже сгорает; металлы барий и стронций, создающие активность оксидного катода, окисляются даже при комнатной температуре. Таким образом, катод на воздухе не может испускать («эмиттировать») электроны; а если бы и смог, то электроны не сумели бы пробиться сквозь «толпу» молекул даже на какие-то доли миллиметра. Поэтому удаление («откачка») воздуха из кинескопа — обязательное условие для создания электронного луча.

В безвоздушном пространстве внутри кинескопа раскаленный катод испускает электроны. Увидеть их нельзя, так как размеры электрона во много раз меньше длин волн световых лучей. Поэтому лучи проходят мимо электронов беспрепятственно, как мы проходим по песчаной дорожке, не спотыкаясь об отдельные песчинки и не ощущая их.

Но представим себе, что мы видим, как катод испускает электроны. Наверное, это похоже на закипающий чайник без крышки: над оксидной поверхностью стоит облако электронов. Оно колышется, расходится, а снизу из оксида выходят струйки новых электронов...

Эта фантазия очень близка к истине. Над катодом действительно образуется электронное облако, которое надо превратить в тонкий пучок, направленный на экран кинескопа.

Попробуем понять, как это превращение происходит.

Представим себе баллон, из которого откачан воздух. В баллоне находятся один против другого два плоских диска — электрода диаметром в 1—2 *см* (рис. 2). Электроды присоединены к источнику постоянного тока — батарее, аккумулятору: один электрод — к отрицательному полюсу батареи, это будет катод; другой — к положительному полюсу, это будет анод. Катод обработан так, что способен испускать электроны. Но теперь рядом имеется положительный электрод — анод, который будет притягивать отрицательно заряженные электроны (а они всегда заряжены отрицательно), и вместо того чтобы клубиться над катодом, электроны полетят на анод. Каким же путем будет лететь каждый электрон?

Когда в пространстве имеются хотя бы два тела под различными напряжениями, область между этими телами — электродами, не отличимая человеческими органами чувств от всего остального пространства, перестает быть безразличной для частиц, обладающих зарядом электричества. Пути таких заряженных частиц в этой области искривляются, а скорости их полета меняются, как будто на частицы действуют какие-то силы. Силы эти действительно существуют: в пространстве, где они действуют, имеется *электростатическое поле.*

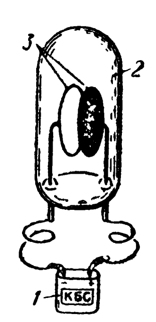


Рис. 2. Баллон с двумя плоскими электродами.

1 — батарея питания; 2 — баллон; 3 — электроды.

Если в любую точку пространства между электродами ввести специальный щуп с подключенным к нему измерительным прибором, то можно измерить величину напряжения в этой точке по отношению к напряжению на электродах. При этом оказывается, что точки с одинаковым напряжением образуют какую-то одну поверхность, а точки с другим напряжением — какую-то другую. Если сделать электрод, форма которого точно соответствует одной из таких поверхностей, поместить его на то же место в пространстве и подать на него то же напряжение, которое измерил прибор, подключенный к щупу, то поле между основными, исходными электродами не изменится. Таким образом, все пространство между ними можно представить состоящим из невидимых промежуточных электродов — поверхностей равного напряжения, которые иначе называют *эквипотенциальными* поверхностями. Каждая такая поверхность — невидимый и прозрачный электрод — не вполне прозрачна для заряженных частиц; на подлетевшую к эквипотенциальной поверхности частицу действует сила, направленная перпендикулярно поверхности в этой точке. Если частица подлетела к поверхности не перпендикулярно, то эта сила заставит частицу изменить направление своего полета. При этом изменяется и скорость частицы: пролетев путь от одного электрода до другого (или даже от одной эквипотенциальной поверхности до соседней), частица изменит свою кинетическую энергию. Если частица заряжена отрицательно, то каждая следующая *более положительная* эквипотенциальная поверхность повышает кинетическую энергию частицы. Эта энергия равна произведению заряда частицы на напряжение между электродами в начале

и конце ее пути. С другой стороны, кинетическая энергия любого тела, в том числе и электрона, равна половине произведения массы частицы на квадрат ее скорости. Приравняв эти два выражения, мы узнаем, что, пролетев от одного электрода до другого, заряженная частица приобретет скорость, пропорциональную корню из заряда частицы и напряжения между электродами, и обратно пропорциональную корню из массы частицы:

$$v=\sqrt{2\frac{e}{m}U},$$

где U — напряжение между электродами, e — заряд, m — масса и v — скорость частицы.

Масса и заряд электрона давно и точно измерены. Поэтому, когда мы имеем дело с электронами, формула становится еще проще, а именно:

$$v \approx 593\sqrt{U}, \text{ км/сек.}$$

Напряжение между катодом и анодом в современных кинескопах равно 16 000 *в*; можно подсчитать, что электроны приобретают в них скорость 75 000 *км/сек*. Но мы совсем забыли за этими рассуждениями о нашем баллоне с плоскими и взаимно параллельными катодом и анодом. В этом простом приборе эквипотенциальные поверхности то же плоскости, параллельные катоду и аноду (рис. 3). На электроны при этом действуют силы, перпендикулярные эквипотенциальным плоскостям и плоскостям электродов, и электроны летят с катода на анод вдоль прямых *силовых линий* параллельно друг другу, не расходясь в стороны и не сходясь в точку, пучком, который имеет постоянное сечение. Напряжение в пространстве между катодом и анодом в этом приборе возрастет на пути электронов равномерно: если между катодом и анодом расстояние равно, скажем 10 *мм*, а напряжение между ними, например, 100 *в*, то на каждом миллиметре пути электрона напряжение возрастает на 10 *в*. Поэтому и скорость электрона все время плавно возрастает и становится наибольшей в момент его удара в анод.

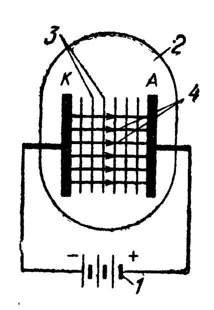


Рис. 3. Форма поля и пути электронов между плоскими электродами.

К — катод; *А* — анод; *1* — батарея питания; *2* — баллон; *3* — эквипотенциальные плоскости; *4* — пути электронов.

Казалось бы, теперь ясно, что получить нужный нам тонкий луч, «электронный карандаш», достаточно просто: вместо катода размером 1—2 *см* надо взять катод, диаметр которого равен диаметру острия карандаша (около 0,5 *мм*), а анод в кинескопе — это, очевидно, экран. И все, задача решена.

К сожалению, на самом деле все не так просто. Как поется в старой солдатской песне о незадачливых военачальниках, «ладно вышло на бумаге, да забыли про овраги — а по ним ходить!». Мы забыли про два глубоких оврага. Вот первый: все электроны заряжены отрицательно, и поэтому они не только летят к аноду, но и

взаимно отталкиваются, так как они заряжены одноименно. Поэтому пучок электронов на своем пути станет расширяться в стороны и подойдет к экрану уже не в виде острия, а в виде тупого стержня толщиной в палец. Лучший способ борьбы с этим явлением — уменьшить время нахождения электронов в пучке, чтобы они по пути к экрану *не успели* сильно оттолкнуться друг от друга. Для этого электроны должны приобрести свою полную скорость, находясь как можно ближе к катоду, а не набирать ее постепенно на всем пути; значит, анод должен находиться вблизи катода, а не вдали, как экран. Есть и второй забытый нами овраг: мы должны иметь возможность управлять «нажимом» электронного карандаша, чтобы получать на экране места разной яркости. В системе из двух электродов, катода и анода, такого устройства нет.

Давайте установим между знакомыми нам плоскими катодом и анодом параллельно им еще один плоский электрод, не способный испускать электроны. В центре этого нового электрода сделаем отверстие, сквозь которое электроны могли бы проходить с катода на анод (рис. 4, *а*). Если этот электрод не присоединять ни к какому источнику напряжения, то он приобретет потенциал окружающего пространства, а проще — станет одной из эквипотенциальных поверхностей. Общая картина поля от этого, как мы знаем, не изменится. Правда, через новый электрод электроны пройти на анод не смогут. С центра катода они по-прежнему будут лететь на анод сквозь отверстие в новом электроде, а с других участков катода электроны будут долетать только до нового электрода.

Теперь подадим на новый электрод какое-нибудь напряжение, например соединим его с катодом (рис. 4, *б*). Тогда между катодом

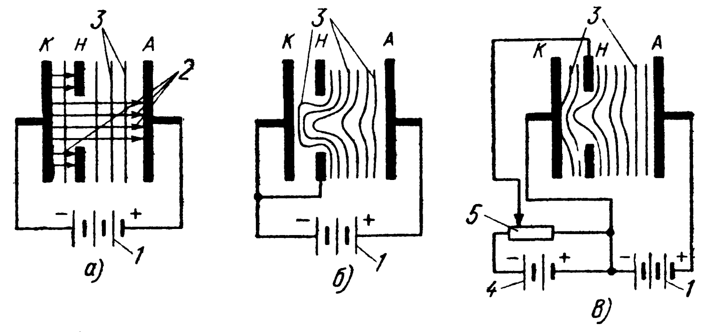


Рис. 4. Форма поля и пути электронов между плоскими электродами при введении промежуточного электрода.

а — на новый электрод не подано напряжение; *б* — новый электрод соединен с катодом; *в* — на новом электроде отрицательное напряжение относительно катода; *К* — катод; *Н* — новый электрод; *А* — анод; *1* — батарея питания; *2* — пути электронов; *3* — эквипотенциальные поверхности; *4* — дополнительная батарея; *5* — переменное сопротивление.

и новым электродом не будет никакого напряжения и, следовательно, никакого электрического поля; все поле сожмется и сосредоточится в промежутке между новым электродом и анодом. Только сквозь отверстие, сделанное в новом электроде, поле войдет в промежуток катод — новый электрод и по-прежнему будет воздействовать на электроны, увлекая их к аноду. Опыты показывают, что в этом

случае электроны вылетают только с поверхности катода, площадь которой примерно равна площади отверстия в новом электроде.

Очевидно, что каждая точка поверхности катода ничем не отличается от соседней в смысле способности испускать электроны. Поэтому, если менять размер отверстия в новом электроде, то соответственно будет меняться и количество электронов, покидающих катод и летящих к аноду, так как будет меняться площадь катода, с которой поле вытягивает электроны. Так можно менять величину идущего на анод потока электронов. А регулировать размеры отверстия в новом электроде в общем-то нетрудно: такой механизм (ирисовая диафрагма) уже давно имеется в любом объективе фотоаппарата или кинокамеры. Но (опять это проклятое «но»!) нам нужно воспроизвести на экране 15 000 000 элементов разложения изображения в секунду. Попробуйте-ка придумать механизм открывания и закрывания диафрагмы, который бы работал с такой скоростью! Мы снова убеждаемся в том, что в телевидении механические способы управления совершенно непригодны.

Однако существует электрический способ регулировки величины потока электронов, проходящего через отверстие в новом электроде. При таком способе меняются не размеры отверстия, а его проницаемость для электронов. Делают это следующим образом.

Отсоединим новый электрод от катода. Отрицательный вывод батареи, подключенный к катоду, соединим с положительным полюсом другой батареи, параллельно которой установлен переменный резистор. Движок этого резистора присоединим к новому электроду (рис. 4, *в*). Теперь будем перемещать движок влево (по схеме). При этом отрицательное напряжение на новом электроде будет постепенно увеличиваться и все больше мешать анодному полю проникать сквозь отверстие в новом электроде к катоду. «Язычок» поля, входящий в отверстие, будет становиться все у́же и у́же. Соответственно все меньшая поверхность катода станет испускать электроны. Наконец, при каком-то определенном отрицательном напряжении на новом электроде электронный пучок полностью иссякнет — катод, как говорят, окажется запертым. Напряжение, при котором электронный пучок иссякает, так и называется *запирающим*. Запирание электронного пучка наступает тогда, когда ни одна эквипотенциальная поверхность (теперь уже не плоская) с напряжением хотя бы чуть-чуть более положительным, чем напряжение катода, не достигает его поверхности. Происходит это потому, что «отрицательные» эквипотенциальные поверхности, окружающие новый электрод, оттесняют от краев его отверстия «положительные» эквипотенциальные поверхности анодного поля.

Меняя величину отрицательного напряжения на новом электроде, мы можем регулировать величину электронного пучка, идущего на анод, или, говоря техническим языком, модулировать электронный луч. Поэтому и электрод, который мы до сих пор называли «новым», на самом деле носит название «модулятор». Этот электрод в кинескопе представляет собой стаканчик с плоским дном, в центре которого имеется отверстие для электронов. Внутри модулятора устанавливается еще меньший стаканчик — катод; его покрытое «оксидом» донышко оказывается перед отверстием в дне модулятора. Таким образом, катод надежно защищен от проникания анодного поля отовсюду, кроме этого отверстия.

Вспомним наше вольное сравнение работающего катода с закипающим чайником. Если над чайником без крышки установлена вы-

тяжная труба с хорошей тягой, то пар не клубится облаком над водой в чайнике, а потоком уносится в трубу. Это соответствует нашему прибору, когда он состоит только из катода и анода. Если мы накроем чайник крышкой с дырочкой, поток пара сузится. Это соответствует вводу в наш прибор модулятора, соединенного с катодом. Если начать вставлять крышку в чайник все глубже (в обычном чайнике этого нельзя сделать, но ведь наш опыт — воображаемый), то это будет соответствовать постепенному увеличению отрицательного напряжения на модуляторе. Когда крышка коснется воды, поверхность испарения исчезнет и струя пара прекратится. Это соответствует запирающему напряжению на модуляторе. Не помогает и наличие вытяжной трубы (анода) — струя пара (пучок электронов) исчезает.

Мы уже знаем, что *размеры* отверстия модулятора невозможно изменять с требуемой скоростью (15 000 000 раз в секунду). *Проницаемость* этого же отверстия, т. е. напряжение на модуляторе, изменять с такой же скоростью вручную, вращая движок резистора, разумеется, тоже невозможно. Но этого и не требуется: на модулятор подается какое-то постоянное, отрицательное по отношению к катоду, напряжение. Его можно регулировать, вращая в телевизоре ручку с надписью «яркость». Но кроме этого постоянного напряжения на модулятор поступает принятый от телепередатчика и усиленный сигнал, т. е. быстро меняющееся во времени напряжние. Изменения этого напряжения и управляют с требуемой скоростью количеством электронов, покидающих катод. Чем больше размах изменений напряжения сигнала, тем больше разница в величине пучка электронов и, как мы узнаем в следующей главе, тем сильнее различие в яркости светлых и темных мест изображения на экране. Величину сигнала (т. е. степень его усиления) тоже можно регулировать по желанию зрителя, вращая в телевизоре ручку с надписью «контраст». А теперь посмотрим, какими путями летят электроны в системе катод—модулятор—анод.

Прежде всего, надо отметить, что в центре анода кинескопа, точно против отверстия в модулирующем электроде, также имеется отверстие (рис. 5). Оно необходимо для того, чтобы электронный пучок мог попасть на экран, который расположен за анодом.

Поле такой же формы, какое существует между плоским катодом и плоским анодом (рис. 3), располагается между модулятором, и анодом всюду, кроме участков вблизи отверстий в этих электродах. В отверстия эквипотенциальные поверхности провисают в виде «язычков».

Такое же поле с плоскими эквипотенциальными поверхностями находится между катодом и модулятором (тоже всюду, кроме участка вблизи отверстия в нем). Но так как по отношению к катоду напряжение на модуляторе отрицательно, то и все эквипотенциальные поверхности между катодом и модулятором более отрицательны, чем катод. Если бы электроны, вылетая с катода, обладали большой скоростью, то такое поле их бы не ускоряло, а тормозило. Практически же начальные скорости выходящих из катода электронов настолько малы, что их затормаживает буквально первая, ближайшая к катоду «чуть отрицательная» эквипотенциальная поверхность. Поэтому участки катода, расположенные сбоку от отверстия в модуляторе, никогда не испускают электронов или, вернее, испускают, но эти электроны остаются на поверхности катода.

Если положительное напряжение на аноде достаточно велико,

а отрицательное напряжение на модуляторе небольшое, то «язычок» положительных эквипотенциальных поверхностей входит в отверстие модулятора настолько глубоко, что достигает поверхности катода. С этого участка катода тотчас же начинают вылетать электроны и летят внутри этого «язычка» сквозь отверстие в модуляторе.

Наверное, все это станет понятнее, если снова обратиться к сравнениям. На этот раз нам поможет наполненный водой таз, по поверхности воды в котором плавает стакан дном вниз. Поверхность воды — это отверстие в модуляторе, дно таза — катод, а погруженная в воду часть стакана — это язычок первой положительной эквипотенциальной поверхности, когда катод заперт. Постепенное погружение рукой стакана в воду аналогично постепенному уменьшению отрицательного напряжения на модуляторе. Вода сопротивляется погружению стакана так же, как отрицательное поле участка катод—модулятор сопротивляется входу язычка положительных эквипотенциалей. Момент, когда нам удастся поставить стакан на дно таза, будет соответствовать началу выхода электронов с катода [только в том месте, где дно стакана (язычка) коснулось дна таза (катода)].

Один из основных законов электростатического поля гласит, что при пересечении летящей заряженной частицей каждой эквипотенциальной поверхности на частицу действует сила, направленная перпендикулярно этой поверхности. Так вот, форма эквипотенциальных поверхностей в «язычке» такова, что пучок электронов, вылетев с катода, постепенно суживается. Место, где диаметр пучка становится наименьшим, находится где-то между модулятором и анодом. Дальше пучок электронов снова начинает расходиться, и сквозь отверстие в аноде выходит уже расходящийся пучок. Это происходит благодаря направлению сил в «язычке», входящем в отверстие анода (рис. 5).

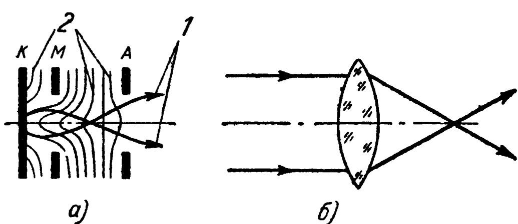


Рис. 5. Фокусировка лучей в точку.

а — фокусировка электронов в точку в системе с тремя плоскими электродами; *б* — фокусировка световых лучей в точку с помощью лупы; *К* — катод; *М* — модулятор; *А* — анод; *1* — пути электронов; *2* — эквипотенциальные поверхности.

А ведь это очень похоже на что-то давно нам знакомое... Вспомните: солнце, лупа, бумага... Лучи солнца образуют за лупой тоже суживающийся, сходящийся в точку пучок. И если лист бумаги постепенно отодвигать от лупы, то светлый кружок на бумаге будет становиться сначала все меньше и ярче, а затем снова начнет увеличиваться и тускнеть — значит, пучок света, сойдясь в точку, снова начинает расходиться *так же*, как электронный пучок. Это сходство поведения световых и электронных пучков привело к созданию новой области науки и техники — *электронной оптики*.

Прежде, чем двигаться дальше, полезно представить себе, с какими размерами электродов приходится иметь дело на практике, в кинескопах. Расстояние катод—модулятор для разных типов кинескопов лежит в пределах 0,14—0,2 *мм*; для каждого определенного типа это расстояние устанавливается с точностью до 0,01 *мм*. Расстояние от модулятора до ближайшего анода 0,4—0,8 *мм*; диаметры отверстий в этих электродах обычно одинаковы: 0,5—1 *мм*. В работающем кинескопе диаметр эмиттирующего участка катода около 0,3 *мм*, а наименьший диаметр пучка электронов между модулятором и анодом — менее 0,1 *мм*, и находится эта точка примерно в полумиллиметре от поверхности катода.

Теперь начнем продвигаться вслед за электронами к экрану.

Лучи солнца, сошедшиеся за лупой в точку, превращаются в «солнечный карандаш», которым можно «рисовать» (выжигать) узоры на дощечке. Электронный пучок, сошедшийся за модулятором в точку, — еще не «электронный карандаш», так как эта точка слишком близка к катоду и далека от экрана. А за этой точкой (она называется «скрещение») электронный пучок снова становится расходящимся. Можно ли отодвинуть лист бумаги или дощечку подальше от лупы и продолжать выжигать рисунок? Можно, и вот каким образом. Лупа способна (как и любой объектив, только хуже) создавать изображение. Встаньте с лупой перед окном, поставьте за лупой листок бумаги — и на нем возникнет перевернутое изображение окна и того, что находится за окном. Так вот, если на пути световых лучей, сошедшихся за лупой в точку и уже расходящихся, поместить вторую лупу, то она создаст *изображение точки скрещения* световых лучей. Это изображение точки тоже, конечно, будет точкой, и эта новая точка расположится уже далеко от первой лупы.

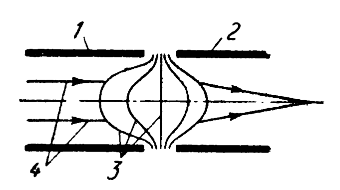


Рис. 6. Форма поля и пути электронов в системе из двух соосных цилиндров («иммерсионная линза»).

1, 2 — цилиндры под разными напряжениями; *3* — эквипотенциальные поверхности; *4* — пути электронов.

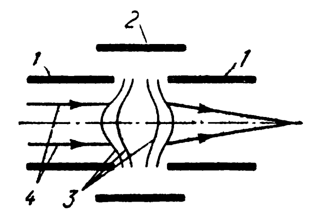


Рис. 7. Форма поля и пути электронов в системе из трех соосных цилиндров («однопотенциальная линза»).

1 — цилиндры анода под общим высоким напряжением; *2* — цилиндр фокусирующего электрода под низким напряжением; *3* — эквипотенциальные поверхности; *4* — пути электронов.

То же самое позволяет сделать с пучком электронов электронная оптика. Представим себе два цилиндра — два отрезка трубы, расположенных один за другим на общей воображаемой оси (рис. 6). Если на каждый цилиндр подать свое напряжение, то между ними возникнет электростатическое поле. Какую форму будут иметь его эквипотенциальные поверхности? Нетрудно сообразить, что в глубь

каждого цилиндра будут входить сильновыпуклые поверхности; каждая следующая будет менее выпуклой, а точно посредине зазора между цилиндрами окажется совершенно плоская эквипотенциальная поверхность с напряжением, средним между напряжениями на обоих цилиндрах. Посмотрите на рисунок эквипотенциальных поверхностей в такой системе (рис. 6). Вам не кажется, что это похоже на знакомую нам лупу — двояковыпуклое стекло?

Такая система из двух цилиндров (электронная линза иммерсионного типа) действует на пучок электронов, летящих вдоль оси цилиндров, так же, как лупа действует на пучок световых лучей: она *фокусирует* расходящийся после скрещения пучок электронов так, что он вновь сходится в точку. Эта точка — изображение скрещения.

Чаще в кинескопах применяется электронная линза несколько более сложной формы, состоящая из трех последовательно расположенных цилиндров (рис. 7). Два крайних цилиндра в ней соединены между собой и находятся под напряжением анода (несколько тысяч вольт), а средний цилиндр, называемый фокусирующим электродом, — под напряжением в несколько сотен вольт. Такая линза называется однопотенциальной. По принципу действия и даже по форме эквипотенциальных поверхностей она очень похожа на двухцилиндровую иммерсионную линзу. Эта главная фокусирующая линза создает на экране кинескопа изображение скрещения — точку, которая и является острием «электронного карандаша».

Фокусное расстояние обычной лупы постоянно и неизменно с момента ее изготовления до тех пор, пока она случайно не разобьется. Фокусное расстояние электронной линзы зависит не только от размеров цилиндров, из которых она состоит, но и от соотношения напряжений на этих цилиндрах. Меняя напряжение на одном из них, можно менять фокусное расстояние электронной линзы в очень широких пределах.

И еще одно замечание. То, что электронная линза является по своей конструкции, по принципу действия фокусирующей, собирающей электронный пучок снова в точку, вовсе не означает, что каждый прошедший линзу пучок сойдется в точку — иногда это и не нужно. Фокусирующее действие линзы может просто сделать широко расходящийся пучок более узко расходящимся, но все же этот пучок, пройдя линзу, будет расширяться. Такое воздействие на электронный пучок называется «предварительной фокусировкой» и широко применяется в кинескопах вот для чего. Если сразу за модулятором будет находиться анод, то электронный пучок после скрещения станет очень сильно расходиться, т. е. по мере удаления от модулятора его диаметр будет очень быстро возрастать. Чтобы этого не происходило, между основным анодом и модулятором устанавливается дополнительный анод, называемый «ускоряющим электродом». Между ним и основным анодом образуется электронная иммерсионная линза, так как напряжение на ускоряющем электроде не превышает нескольких сотен вольт, а напряжение на основном аноде составляет несколько тысяч вольт. Эта линза предварительной фокусировки намеренно сделана слабой. Она не может свести электронный пучок электронов в точку, но заставляет его расходиться в меньшей степени (рис. 8).

Уменьшение расхождения пучка необходимо по двум причинам. Во-первых, без такого сужения пучка его диаметр растет так быстро, что, пока пучок дойдет до главной фокусирующей линзы, он станет примерно равным диаметру цилиндров, из которых собрана

линза. Такой широкий пучок нельзя сфокусировать в точку (рис. 9), ибо в нем пути наружных электронов пучка при прохождении линзы изменятся гораздо сильнее, чем пути внутренних электронов. В результате наружные электроны сойдутся в точке, не долетев до экрана, и до попадания на экран успеют снова разойтись, тогда как внутренние электроны сойдутся в точку как раз на экране. В этом случае «электронный карандаш» будет не острым, а тупым.

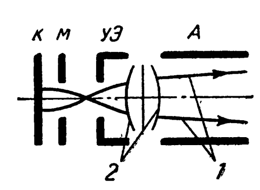


Рис. 8. Предварительная фокусировка электронного луча.

К — катод; М — модулятор; УЭ — ускоряющий электрод; А — анод; 1 — пути электронов; 2 — эквипотенциальные поверхности иммерсионной линзы предварительной фокусировки.

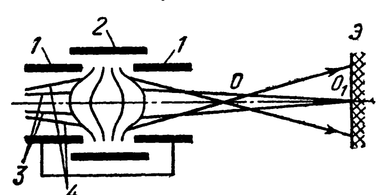


Рис. 9. Расфокусировка широкого пучка электронов.

Э — экран кинескопа; 1 — цилиндры анода; 2 — цилиндр фокусирующего электрода; 3 — внутренние электроны (узкий пучок); 4 — внешние электроны (широкий пучок); О — точка фокусировки пучка 4; O_1 — точка фокусировки пучка 3 (на экране).

Вторая причина сложнее. Ясно, что электронный пучок должен попадать в любую точку экрана (как это делается, мы узнаем в следующей главе). При этом ширина «острия» электронного пучка должна быть неизменной по всему экрану, чтобы изображение везде было одинаково четким. Но расстояние от главной линзы до центра экрана намного меньше, чем до его угла. Эта разница в расстояниях («разность хода луча») составляет в современных кинескопах 100 *мм* и даже более. Поэтому если пучок сходится в точку в центре экрана, то на более длинном пути до его угла он успеет разойтись снова и изображение в углах будет нечетким, нерезким. Если, наоборот, заставить электронный луч сходиться в точку в углах экрана, то к центру будет подходить луч, еще не сошедшийся в точку и центр изображения будет нерезким.

Во избежание этого явления необходимо, чтобы электронный луч сходился в точку *медленно*. Иными словами, если представить себе, что луч выходит из главной линзы в виде конуса, то угол при вершине этого конуса должен быть возможно меньшим. Тогда на *разных* расстояниях от главной линзы размеры поперечного сечения электронного луча будут примерно *одинаковыми*. Но после выхода из главной линзы луч будет сходиться медленно только тогда, когда при входе в нее он расходится также медленно. А это можно обеспечить только с помощью линзы предварительной фокусировки.

Почему же луч с малым углом схождения обеспечивает практически равномерную четкость изображения по всему экрану? Сделайте простой опыт: начертите на листе бумаги две прямые линии, пересекающиеся под углом 30°, и две прямые, пересекающиеся под углом 1° (примерно под таким углом сходятся электроны луча в кинескопе). Указать место пересечения двух первых линий просто. А вот

найти точку пересечения второй пары прямых почти невозможно, так как они на большом участке практически сливаются. Сечение электронного луча, сходящегося под малым углом, тоже остается почти неизменным в достаточно широком диапазоне расстояний от главной линзы, и это обеспечивает требуемую равномерность четкости изображения по всему экрану.

Как «электронный карандаш» чертит по экрану

Катод, модулятор и все последующие цилиндры-аноды, расположенные строго вдоль одной общей оси, образуют *электронно-оптическую систему* (сокращенно ЭОС). Пройдя линзу предварительной фокусировки и войдя в цилиндр анода, электроны приобретают свою полную скорость и, следовательно, полную энергию — ту энергию, с которой они подлетят к экрану. Больше на всем своем пути до экрана электроны скорости не изменят.

Сфокусированный лупой пучок солнечных лучей обладает в точке скрещения такой плотностью световой энергии, т. е. таким количеством света в одной точке, что лист бумаги в этом месте мгновенно начинает дымиться.

Сфокусированный главной линзой ЭОС электронный пучок обладает в точке изображения скрещения тоже настолько высокой плотностью, что он способен мгновенно прожечь насквозь слой светящегося вещества на экране и тем самым испортить кинескоп.

Но изображение на экране создается, как нам уже известно, постепенно, последовательно, по строкам и кадрам. Поэтому электронный пучок необходимо непрерывно отклонять от оси ЭОС — той прямой, по которой он движется к экрану, причем делать это нужно определенным образом: «конец» пучка должен прочертить по экрану сначала первую строку, затем вторую и т. д. Скорость движения конца пучка («острия карандаша») по экрану, вдоль строки, должна составлять, как говорилось, десятки тысяч километров в час. При такой скорости перемещения электронный пучок не успевает не только прожечь экран, но и сколько-нибудь заметно его повредить. Для отклонения электронного луча в кинескопе используют *магнитные поля.*

Магнитное поле, как и поле электростатическое, есть такое состояние пространства, при котором заряженные частицы, находящиеся в этом пространстве, начинают изменять без всяких видимых причин направление своего движения. Это поле возникает вокруг всякого провода, по которому течет электрический ток. Следовательно, для создания магнитного поля необходима определенная энергия. Электростатическое поле, наоборот, создается просто путем приложения различных напряжений к различным электродам; если через них при этом не идет ток, то энергия не расходуется. Так, в ЭОС кинескопа ни на один электрод не попадает ни одного электрона из луча — все вышедшие с катода электроны достигают экрана.

Как мы уже знаем, электростатическое поле может менять как направление полета заряженных частиц, так и их скорость. Более того, практически любое воздействие электростатического поля обязательно влияет на скорость частиц. В отличие от электростатического поля магнитное поле способно изменять лишь направление полета частиц, но не их скорость.

Бессмысленно, конечно, задавать вопрос: какое поле лучше, магнитное или электростатическое? Важно, что их воздействие на заряженные частицы различно. В кинескопе используются свойства и того и другого поля.

Магнитное поле обычно создают, пропуская электрический ток через катушку — большое число витков провода, навитого на каркас. Магнитное поле (точнее, напряженность магнитного поля) направлено при этом вдоль оси каркаса. Магнитное поле тем сильнее действует на заряженные частицы, чем больше угол между направлением полета частиц и направлением напряженности магнитного поля. Когда эти направления взаимно перпендикулярны, максимальны действие магнитного поля на частицы и изменение направления полета частиц. Когда частицы летят параллельно магнитному полю, оно для частиц как бы не существует и на направление их полета влияния не оказывает. Напряженность магнитного поля тем выше, чем больше ток, идущий по проводу катушки, и чем больше витков провода в катушке. Она измеряется в специальных единицах: ампервитках.

Если представить себе, что поток заряженных частиц и магнитное поле находятся в одной плоскости, то силы магнитного поля, действующие на частицы при их встрече с полем, направлены перпендикулярно этой плоскости. Из механики известно, что сила, действующая на частицу перпендикулярно направлению ее полета, заставляет частицу двигаться по окружности до тех пор, пока действует эта сила. Поэтому летящий вдоль оси ЭОС пучок электронов, войдя в зону действия магнитного поля отклоняющей катушки, начинает двигаться по дуге какой-то окружности, пока не выйдет из этой зоны, после чего вновь летит по прямой, но уже в ином направлении, чем до встречи с магнитным полем. Радиус окружности, по которой летят заряженные частицы в магнитном поле, прямо пропорционален их массе и скорости и обратно пропорционален их зарядам и напряженности магнитного поля.

Для отклонения электронного пучка в кинескопе применяются две пары катушек. Внешне они мало похожи на обычные катушки и конструктивно объединены в кольцо сложной формы, называемое отклоняющей системой, но их воздействие на частицы остается тем же самым. Отклоняющая система надевается снаружи на горловину кинескопа в том месте, где горловина начинает расширяться и переходить в коническую часть баллона.

Две из четырех катушек отклоняющей системы, обычно соединенные параллельно, располагаются соответственно над и под горловиной кинескопа. Магнитное поле этих катушек направлено вертикально, поперек горловины. Электронный пучок, летящий вдоль горловины, под воздействием этого поля будет отклоняться горизонтально, вправо и влево, и его конец станет «прочерчивать» по экрану строку. Эти катушки так и называются *строчными*.

По мере увеличения тока, протекающего через строчные катушки, конец электронного пучка все сильнее отклоняется от центра экрана, где он находится при отсутствии в них тока. Если скорость нарастания тока через катушки постоянна, то постоянна и скорость движения конца пучка вдоль строки, что и требуется. При максимальной величине тока конец пучка находится на самом краю экрана, в конце строки. Затем ток через катушки, оставаясь таким же по величине, мгновенно меняет свое направление на противоположное От этого электронный пучок перебрасывается к противополож-

ному краю экрана, в начало строки. Далее ток начинает уменьшаться с той же скоростью, с какой он нарастал. Вследствие этого пучок будет отклоняться все меньше и меньше, а его «острие» станет двигаться вдоль строки к центру экрана. Когда ток упадет до нуля, конец пучка снова окажется в центре экрана и все повторится: ток через катушки пойдет в первоначальном направлении, постепенно нарастая, а конец пучка начнет двигаться вдоль строки, удаляясь от центра.

Другие две катушки отклоняющей системы, соединенные последовательно, располагаются слева и справа от горловины кинескопа. Их поле направлено горизонтально, и поэтому под его воздействием электронный пучок отклоняется по вертикали, вверх и вниз. Эти катушки называются *кадровыми.*

Величина тока, протекающего через кадровые катушки, меняется гораздо медленнее. Пока электронный пучок пробегает от начала до конца каждой строки, магнитное поле кадровых катушек непрерывно понемножку отклоняет его в вертикальном направлении, так что каждая строка на экране получается чуть-чуть наклоненной, но настолько слабо, что наш глаз этот наклон не замечает. Однако за время прочерчивания всей строки это вертикальное отклонение сдвигает пучок настолько, что следующая строка будет ниже предыдущей примерно на ее ширину (около 0,5 *мм*).

Когда через кадровые и строчные катушки одновременно протекают максимальные токи, пучок отклонен в тот или иной угол экрана в зависимости от направлений токов.

Величина тока через кадровые катушки меняется от максимальной до нуля в одном направлении и от нуля до максимальной в обратном направлении 25 раз в секунду. Но за то время, пока ток

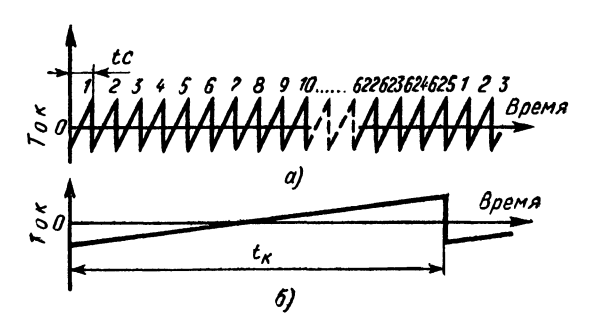


Рис. 10. Изменение во времени величины тока через катушки отклоняющей системы.

а — в строчных катушках; *б* — в кадровых катушках; $t_с$ — время пробегания лучом одной строки; $t_к$ — длительность одного кадра; *1, 2, 3... 625* — порядковые номера строк.

в кадровых катушках проходит один такой цикл, величина тока в строчных катушках успевает измениться таким же образом 625 раз, заставляя электронный пучок прочертить по экрану 625 строк, каждая чуть-чуть ниже предыдущей (рис. 10). И так повторяется 25 раз в секунду.

Телевизионный передатчик передает изображение последовательно, по строкам и кадрам. Телевизор воспроизводит на кинескопе изображение тоже последовательно, по строкам и кадрам. Ясно, что число строк в кадре и число кадров в секунду должно быть строго одинаковым как у передатчика, так и у телевизора. Ведь, копируя рисунок по клеткам, мы с вами разлиновываем на одно и то же число клеток и оригинал, и лист бумаги для копии. Рисунок-оригинал лежит при этом перед нами, и мы можем начать перерисовывать его с любого угла — с левого верхнего или с правого нижнего — это все равно. Но для того, чтобы кинескоп воспроизводил именно то, что находится перед передатчиком, необходимо, чтобы в каждый ничтожно малый момент времени пучок кинескопа «рисовал» именно ту «клетку» — точку изображения, которую в этот момент «рассматривает» телепередатчик. Необходимо, чтобы каждая строка, скажем, 18-я или 457-я, просматривалась передатчиком и воспроизводилась кинескопом строго одновременно. Необходимо, наконец, чтобы передатчик начинал передавать, а кинескоп — воспроизводить каждый кадр в одно и то же время. И не только один кинескоп, а все кинескопы, перед экранами которых сидят владельцы телевизоров и смотрят передачу.

Поэтому вместе с сигналами изображения (видеосигналами) с телецентра идут сигналы *синхронизации.* Эти сигналы заставляют отклоняющие системы всех телевизоров работать строго в такт или, как говорят, синхронно с той системой, которая управляет отклонением «глаза» передатчика, направляя его по очереди во все «клетки» передаваемого изображения.

По ряду причин оказалось удобнее передавать не 25 кадров в секунду, а 50 полукадров: за одну пятидесятую долю секунды передаются все нечетные строки, а за следующую пятидесятую долю — все четные.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Экран

Показываем ли мы детям диафильм, находимся ли мы в зале кинотеатра — в любом случае световой луч проектора падает на экран, и экран светится. Электронный пучок (луч) падает на экран кинескопа, и его экран тоже светится. Но между свечением экрана в кинотеатре и свечением экрана в телевизоре — огромная разница. В кино экран светится потому, что на него попадают лучи света от проектора. Эти лучи отражаются от экрана и попадают нам в глаза. Электронный луч невидим. Значит, для того, чтобы увидеть что именно «нарисовал» на экране электронный луч, сам экран должен *превратить* удары электронов в излучение света.

Можно ограничиться простой и, в общем-то, ничего не объясняющей фразой, например: «экран кинескопа начинает светиться под воздействием ударяющегося в него электронного потока». Но это ведь и так хорошо известно. Вряд ли найдется человек, который не знает, что экран телевизора светится. А почему он светится, в конце концов безразлично. Вот когда экран перестанет светиться, придется вызывать мастера из телеателье. Если же вас интересует, как рабо-

тает кинескоп, автор этой книги считает своим долгом объяснить, почему экран светится.

Почему экран светится

На земле очень много веществ, совершенно не проводящих электрический ток. Такие вещества называются *диэлектриками*. К ним принадлежат все неметаллы периодической системы элементов Д. И. Менделеева, а также большинство окислов (соединений металлов с кислородом) и солей (соединений металлов с неметаллами или так называемым «кислотным остатком»). В таких веществах нет свободных электронов, которые могли бы двигаться по ним. Каждый электрон в диэлектриках существует только как часть одного из атомов и вращается вокруг его ядра по своей орбите.

В результате *сильных* ударов по атому (от встречного атома или электрона) он может потерять один из своих электронов и превратиться в положительно заряженный ион или приобрести дополнительный электрон и стать отрицательно заряженным ионом. Атомы одних элементов способны превращаться только в положительные ионы, других — только в отрицательные ионы. Зависит это от строения атома.

Если же удар по атому недостаточно силен для превращения его в ион (ионизации), то атом просто приходит в *возбужденное* состояние. Энергия, полученная им при ударе, приводит к тому, что один или несколько его электронов, не покидая свой атом, переходят на новые орбиты, более далекие от его ядра. Состояние возбуждения неустойчиво, и атом быстро приходит в свое нормальное состояние. Это означает, что ушедшие на далекие орбиты электроны возвращаются на прежние места. При этом запасенную в результате удара энергию они отдают в окружающее пространство *в виде света*. Цвет этого светового излучения зависит от свойств атома данного вещества, а яркость — от того, сколько электронов в результате возбуждения ушло на новые орбиты и затем вернулось обратно.

Далеко не все вещества-диэлектрики способны сравнительно легко возбуждаться, и не все диэлектрики, которые можно возбудить, дают видимое излучение. Веществ, способных давать излучение *белого* цвета, нет вообще, так как белый цвет — это только совокупность всех видимых нами цветов — синего, зеленого, желтого, красного и т. д. (подробно мы это рассмотрим в главе о кинескопах цветного телевидения). Следовательно, чтобы атом вещества, возвращаясь от возбужденного состояния к нормальному, давал излучение белого цвета, он должен был бы одновременно изучать свечение всех цветов, а это невозможно.

Существует довольно много веществ, способных сильно светиться при энергичном воздействии на них ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами либо электронной бомбардировкой. Все такие вещества называются *люминофорами*. Те из них, которые светятся под воздействием электронной бомбардировки, носят название катодолюминофоров. Если телевизор не включен, хорошо видно, что стекло экрана кинескопа покрыто изнутри серовато-желтым слоем. Это и есть слой катодолюминофора.

Каким цветом светится экран кинескопа, всем известно очень хорошо. Хотя и принято говорить «голубой экран», на самом деле цвет свечения экрана не голубой. Он почти белый, со слабым голубова-

тым оттенком. Когда мы смотрим телепередачу, этот голубоватый оттенок практически не заметен, и изображение представляется нам таким же черно-белым, как черно-белый кинофильм или фотоснимок.

Люминофоров, дающих белый цвет свечения, нет и быть не может. Так почему же экран светится почти белым цветом? Включите телевизор, когда нет передачи, или отсоедините от работающего телевизора антенну, и увеличьте яркость экрана. А теперь возьмите лупу с увеличением в 5—10 раз и посмотрите через нее на экран. Вы очень удивитесь: весь экран состоит из точек, светящихся синим и желтым цветами! Этих точек много, они очень маленькие и равномерно перемешаны. В результате свечение экрана нам кажется белым. Почему смесь синих и желтых точек создает в нашем глазу представление о белом, мы узнаем позже. Но лупа нас не обманывает. На экран нанесена действительно смесь двух разных люминофоров. Синий цвет свечения дает сульфид цинка, а желтый — сульфид цинка-кадмия.

Размер острия «электронного карандаша» на экране больше, чем размеры отдельных синих и желтых точек. Поэтому электронный луч, попадая в каждую ничтожную долю секунды в очередную точку экрана, возбуждает одновременно крупинки обоих люминофоров. Вот он возбудил атомы какой-то крупинки люминофора и ушел в соседнюю точку. Возбужденные атомы постепенно возвращаются в обычное состояние и при этом излучают свет. Это продолжается примерно 1—2 *сотых* доли секунды. Поэтому когда луч снова придет в ту же самую точку экрана (а он это сделает, как вы помните, через $^1/_{25}$ *сек*), свечение экрана от предыдущего возбуждения давно закончится («давно» — это примерно 2—3 сотых доли секунды тому назад). Значит, каждая точка экрана светится примерно от четверти до половины времени каждого кадра. Но нам кажется, что экран излучает свет непрерывно, так как световая инерция нашего глаза примерно равна одной десятой доле секунды. И пока глаз помнит впечатление о том, что какая-то точка экрана вспыхнула, эта точка успеет вспыхнуть еще раз, а то и два.

От чего зависит яркость свечения экрана

При рисовании на бумаге мягким карандашом можно легко получить самые разные оттенки, от светло-серого до глубокого черного. Все зависит от нажима карандаша на бумагу. Чем больше энергия нажима, тем чернее линия. Если же чертить мелом по черной доске, то чем больше энергия нажима, тем, наоборот, белее линия, тем выше ее яркость. То же самое происходит в кинескопе.

Мы уже говорили, что кинетическая энергия заряженной частицы равна произведению ее заряда на разность напряжений между началом и концом ее пути. Электронный луч состоит из бесчисленного множества электронов, но заряды у всех электронов равны, и все электроны пролетают путь с одной и той же разностью напряжений (между катодом и анодом). Поэтому энергия электронного луча равна произведению суммы зарядов всех электронов на напряжение между катодом и анодом. Удобнее иметь дело не с энергией, а с мощностью. Мощность — это энергия в единицу времени, а сумма зарядов в единицу времени — это ток; мощность электронного луча равна произведению его тока на напряжение между катодом и анодом. Ток

электронного луча в кинескопе обычно не превышает 100—200 *мка*. Если напряжение между анодом и катодом равно, например, 16 000 *в*, то мощность этого луча составляет от 1,6 до 3,2 *вт*. Чем больше энергия (или мощность) электронного луча, тем ярче светится экран. Таким образом, яркость экрана зависит от того, сколько электронов в луче (величины тока), и от напряжения между катодом и анодом. Так как напряжение на катоде принимают равным нулю (катод «заземлен»), то напряжение между катодом и анодом называется обычно «анодным напряжением».

Как же меняется яркость свечения экрана при изменении тока луча и анодного напряжения? Яркость экрана прямо пропорциональна току луча: когда величина тока изменится в 2 или 4 раза, во столько же раз увеличится или уменьшится яркость свечения экрана (рис. 11). Поэтому сигнал от телепередатчика, непрерывно меняющий величину тока луча, меняет тем самым и яркость свечения экрана. А так как конец луча непрерывно движется по экрану (по строкам и кадрам), на экране появляется видимое изображение.

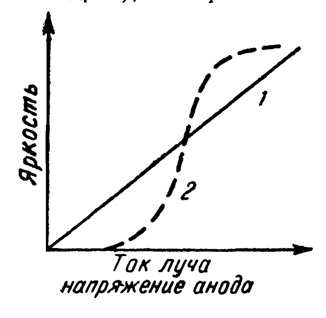


Рис. 11. Зависимость яркости свечения экрана кинескопа от тока электронного луча и анодного напряжения.

1 — зависимость от тока луча; *2* — зависимость от анодного напряжения.

Но беспредельно повышать яркость путем сильного увеличения тока луча нельзя, так как чем больше ток, тем хуже четкость изображения на экране. Происходит это вот почему: ток можно увеличивать только уменьшая отрицательное напряжение на модуляторе. При этом, как вы, очевидно, помните, положительные эквипотенциальные поверхности проникают в отверстие модулятора все более широким «язычком», заставляя все новые и новые участки катода эмиттировать электроны. Естественно, число электронов в луче при этом увеличивается, т. е. ток луча возрастает. Но увеличение размеров работающей поверхности катода приводит к росту размеров как самого скрещения, так и его изображения, т. е. к «затуплению» конца «электронного карандаша». Кроме того, чем больше электронов в луче, тем сильнее они отталкиваются друг от друга. Это тоже приводит к расширению светящегося пятна, возникающего под действием луча на экране. В течение последних лет путем усовершенствования конструкции электронно-оптических систем, повышения точности их изготовления и улучшения катодов удалось добиться сохранения четкости изображения на экране при токе луча величиной не 30 *мка*, как в старых кинескопах, а 400—500 *мка*.

Увеличение тока луча необходимо главным образом не для повышения яркости, а для *сохранения* ее при *увеличении* размеров экрана. Ведь чем больше размеры экрана, тем длиннее каждая строка, которую прочерчивает по нему луч и тем больший путь должен пробежать конец луча по экрану за время каждого кадра ($^1/_{25}$ *сек*). Это значит, что луч должен скользить вдоль строки с большей скоростью, и, следовательно, он будет находиться в каждой точке экрана меньшее время. Поэтому если увеличить размеры экрана, а ток

луча оставить прежним, то в каждую точку будет попадать меньше электронов, будет возбуждаться меньше атомов люминофора и яркость свечения экрана понизится.

Яркость свечения экрана можно повышать также, увеличивая напряжение на аноде. Здесь, однако, нет такой прямой пропорциональности (рис. 11). При низких анодных напряжениях экран вообще не светится, так как при этом электроны в луче летят медленно, обладают малой энергией и практически не возбуждают атомы люминофора. При повышении анодного напряжения яркость сначала увеличивается, но затем перестает расти. Сложная зависимость яркости от анодного напряжения и неудобство управления быстрыми изменениями его в пределах нескольких тысяч вольт привели к тому, что управление яркостью экрана производится только изменением тока луча. Напряжение на модуляторе при этом меняется не более чем на 30—40 *в*.

Человеческая мысль никогда не успокаивается на достигнутом. После того как телевидение было создано, ученые и инженеры непрерывно продолжали работать над тем, чтобы изображение на экране было больше, ярче и четче. И когда было обнаружено, что ни путем повышения тока луча, ни увеличением анодного напряжения уже нельзя существенно повысить яркость свечения экрана, то оказалось необходимым найти новые пути улучшения качества изображения. Но прежде, чем говорить о них, придется несколько отвлечься.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Усовершенствование кинескопов

Теперь, когда мы рассмотрели основные принципы работы кинескопа, когда нам известно, как создается электронный луч и почему светится экран, надо познакомиться с тем, как устроен кинескоп.

Как устроен кинескоп

Все, наверное, знают, как выглядит снаружи экран кинескопа, да видели и сам кинескоп — если не в своем телевизоре, так на полках магазинов. Общий вид кинескопа в разрезе показан на рис. 12.

Экран — самая ответственная и единственная видимая в телевизоре часть кинескопа, его лицо. На внутреннюю поверхность экрана нанесен слой люминофора, и поэтому экран всегда делают из стекла, так как он должен быть прозрачен. У первых телевизоров экран кинескопа имел круглую форму и был небольшим. Однако передаваемое изображение в телевидении, как и в кино, имеет прямоугольную форму. Когда такой прямоугольник размещен в круглом экране, его краевые сегменты не используются и только увеличивают размеры кинескопа и телевизора. Так, например, в телевизоре КВН-49 при диаметре экрана 18 *см* размер изображения был равен только 10×15 *см*. Поэтому уже сравнительно давно кинескопы выпускаются с экранами прямоугольной формы. Размеры такого кинескопа во всем мире принято характеризовать размером диагонали экрана. Сейчас самый большой кинескоп имеет диагональ 67 *см*. В последнее время начали появляться маленькие легкие переносные телевизоры,

в которых тоже стоят кинескопы с прямоугольным экраном. У самого крошечного микрокинескопа размер диагонали экрана всего 4 *см*.

Когда из кинескопа удален воздух, то на него со всех сторон давит окружающая нас атмосфера. Давление это достаточно велико: на экран кинескопа с диагональю 59 *см* давление составляет 2,5 *тс*. Чтобы успешно выдерживать эту нагрузку, экраны всегда делаются слабо выпуклыми, но и при этом их толщина остается большой: в центре экрана с диагональю 59 *см* толщина стекла достигает 11 *мм*, а в углах — до 16 *мм*. Однако плоский экран имел бы такую же прочность только при толщине порядка 30 *мм*.

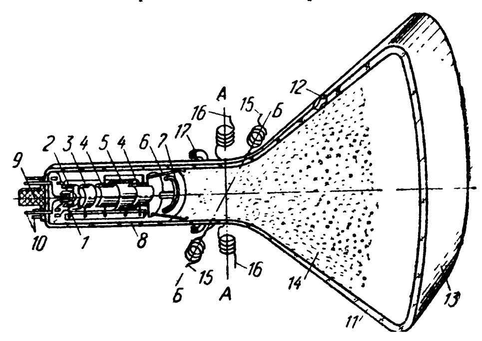


Рис. 12. Общий вид кинескопа (продольный разрез).

1 — катод; *2* — модулятор *3* — ускоряющий электрод; *4* — анод; *5* — фокусирующий электрод; *6* — пружина для контакта с графитовым покрытием, *7* — газопоглотитель; *8* — горловина; *9* — цоколь; *10* — штырьки цоколя; *11* — конус баллона; *12* — боковой вывод анода; *13* — экран; *14* — графитовое покрытие; *15* — отклоняющие катушки кадровой развертки; *16* — отклоняющие катушки строчной развертки; *17* — магнит центровки; *А—А* — направление магнитного поля строчных катушек; *Б—Б* — направление магнитного поля кадровых катушек.

Боковые стенки экрана переходят в конус, который почти всегда делают также из стекла и только в редких случаях из стали. Конус, постепенно суживаясь, переходит в стеклянный цилиндр — горловину, расположенную против центра экрана. В месте перехода конуса в горловину, как мы уже говорили, снаружи на кинескопе располагается отклоняющая система. На пути электронного луча, в месте пересечения оси горловины, вдоль которой летит луч, и осей отклоняющих катушек находится воображаемая точка, называемая центром отклонения Если мысленно провести из этой точки прямые линии в противоположные углы экрана, то угол между этими прямыми называется *углом отклонения* электронного луча по диагонали. Непрерывные усилия конструкторов уменьшить размеры кинескопа (а, следовательно, и телевизора) привели к тому, что угол отклонения удавалось делать все больше и больше, т. е. создавались способы, позволяющие отклонять электронный луч все сильнее и сильнее. В кинескопах с круглым экраном угол отклонения (по диаметру) был равен 52°, в первых прямоугольных кинескопах — 70° (по диаго-

нали), а в новейших крупных кинескопах — уже 110°. Чем больше угол отклонения, тем короче конус, меньше общая длина кинескопа и глубина футляра телевизора.

В горловине, вдоль ее оси, размещается электронно-оптическая система. Противоположный от экрана торец горловины наглухо закрыт стеклянным дном — ножкой. Через ножку пропущены металлические стержни — выводы электродов. Через эти выводы подводятся напряжения на подогреватель катода и все электроды ЭОС, кроме анода. Высокое анодное напряжение (10 000 *в* и более) подать через ножку нельзя: будут происходить пробои между выводом анода и соседними выводами других электродов. Поэтому напряжение на анод подают через специальный вывод, вваренный сбоку в конус баллона кинескопа. У кинескопов старых образцов этот вывод имеет снаружи форму стаканчика, у новых моделей — чашечки. Верхняя часть горловины (над ЭОС) и нижняя часть конуса (включая место вварки вывода анода) покрыты изнутри слоем графита (черное покрытие), который является хорошим проводником электричества. Высокое напряжение с анодного вывода подается через графитовый слой на анод в электронно-оптической системе. К аноду присоединены плоские пружинки, которые с силой упираются в графитовое покрытие на стенках горловины, обеспечивая надежный контакт.

Под нижним краем графитового слоя на горловине иногда видно блестящее покрытие: это зеркало газопоглотителя. Когда кинескоп окончательно изготовлен, внутри него нагревают и испаряют небольшое количество металла бария. Испаряющийся барий оседает на стенках, образуя тонкий зеркальный слой. Этот слой интенсивно поглощает оставшиеся в кинескопе газы, которые не оказалось возможным удалить, а также газы, выделяющиеся из внутренних частей кинескопа в процессе его работы. Благодаря газопоглотителю в кинескопе создается и поддерживается такой глубокий вакуум, такое полное отсутствие газов, которого нельзя добиться путем откачки с помощью насосов. Долговечность кинескопа в основном определяется тем, насколько активно работает газопоглотитель.

Электронно-оптическую систему закрепляют в горловине на выводах ножки. Снаружи на ножку надевают цоколь. Его назначение — предохранить от разрушения ножку с выводами и одновременно обеспечить правильное присоединение всех выводов к телевизору.

Практически трудно добиться того, чтобы ось электронно-оптической системы точно совпадала с осью горловины и чтобы на этой же оси находился центр отклонения отклоняющей системы. Если электронный луч не проходит через него, то на экране возникают различные искажения изображения. Так, например, когда электронный луч находится под центром отклонения, то отклоняющее действие нижней катушки строчной развертки будет сильнее, чем верхней; в результате нижние строки на экране будут длиннее верхних, и кадр вместо прямоугольной формы примет форму трапеции. Изображение при этом, конечно, исказится. Сильное смещение электронного луча от центра отклонения может привести и к тому, что при наибольших отклонениях (в углах кадра) луч начнет задевать внутреннюю поверхность баллона кинескопа в месте перехода от горловины к конусу и не попадет на экран. На изображении при этом возникают темные, как бы срезанные углы. Для предотвращения таких искажений снаружи на горловине кинескопа устанавливают *магнит центровки* кольцеобразной формы с полюсами, расположенными на двух взаимно противоположных концах диаметра. Поле

такого магнита всегда перпендикулярно электронному лучу и отклоняет его в каком-то одном направлении. Вращая магнит вокруг горловины кинескопа, можно повернуть электронный луч так, что он станет проходить через центр отклонения.

Теперь, рассмотрев устройство кинескопа, легче будет понять те усовершенствования последних лет, которые значительно улучшили качество изображения.

Критическое напряжение

При достаточно высоком анодном напряжении яркость свечения экрана перестает возрастать (рис. 11), сколько бы мы ни повышали далее это напряжение. Такое явление странно: ведь, повышая анодное напряжение, мы увеличиваем энергию электронов. Почему же люминофор на это никак не реагирует, как будто ему «безразлично», с какой силой бомбардируют его электроны? Этот вопрос долго мучил исследователей, пока, наконец, не выяснилось, в чем тут дело.

Известно, что электрический ток идет по проводам только в том случае, когда электрическая цепь замкнута, т. е. имеется сплошной, непрерывный путь от одного вывода источника напряжения до другого. Поэтому любой прибор мы присоединяем к источнику напряжения (батарее или штепсельной розетке) обязательно с помощью двух проводов. Правда, в рассмотренном нами ранее приборе плоский катод не соединен проводом с плоским анодом, но в этом случае электрическая цепь замыкается *потоком электронов*, летящих с катода на анод.

В кинескопе все аноды — полые цилиндры. Электроны луча пролетают сквозь них беспрепятственно. Пройдя через электронно-оптическую систему и получив от нее полный запас энергии, электроны дальше по инерции летят на экран. По пути к нему уже нет ничего способного изменить их энергию, ускорить их или замедлить.

Но люминофор, из которого сделан экран, является диэлектриком. Так как диэлектрики не проводят электрический ток, на экран нельзя подать никакого напряжения, — вернее, подать можно, но из этого ничего не получится: в том месте, где провод от источника питания «соединяется» с люминофором, будет напряжение, а в соседних точках его не будет. Значит, электроны луча, достигая экрана, остаются в тех точках слоя люминофора, куда они попали? Но тогда не образуется замкнутой цепи, и через кинескоп не будет идти ток. А ток идет!

Оказывается, бомбардируя люминофор, электроны не только возбуждают атомы, но и выбивают из люминофора наружу новые, *вторичные* электроны. Можно спорить (и ученые спорят), являются ли вторичные электроны действительно новыми или это отраженные от люминофора *первичные* электроны, прилетевшие в электронном луче. Нам это все равно. Важно, что в нормальных условиях работы кинескопа *количество вторичных электронов практически равно количеству электронов первичных.* Выйдя из люминофора, вторичные электроны попадают в поле анода, притягивающее их к себе. Роль анода при этом выполняет графитовое покрытие на стенках конуса, находящееся под полным анодным напряжением.

Таким образом, электрическая цепь через кинескоп замыкается по следующему пути: минус высоковольтного источника анодного напряжения — катод — луч первичных электронов — люминофор на

экране — поток вторичных электронов — графитовое покрытие — плюс источника анодного напряжения.

Мы неслучайно сделали оговорку, что число вторичных электронов равно числу первичных в *нормальных* условиях работы кинескопа. Люминофор обладает, оказывается, одним неудобным для нас свойством: если анодное напряжение выше какого-то определенного значения (своего для каждого типа люминофора), то чем оно выше, тем меньше вторичных электронов выбивается из люминофора.

Объяснить это явление можно следующим образом: чем больше скорость электрона, влетающего в слой люминофора, тем глубже он проникает в этот слой, пока не остановится. До какого-то предела это явление полезно, так как каждый электрон, проходя в люминофоре больший путь, возбуждает большее число его атомов. При этом яркость свечения экрана растет с повышением анодного напряжения. Но при очень высоких анодных напряжениях электроны проникают в глубь люминофора так далеко, что вторичные электроны уже не могут выйти на поверхность люминофора и улететь на графитовое покрытие. В результате на экране накапливается избыток электронов и экран приобретает какой-то отрицательный заряд, который начинает *тормозить* подлетающие к экрану электроны луча, снижая этим их энергию при ударе в слой люминофора. Скорость электронов в этот момент соответствует уже не анодному напряжению, а какому-то меньшему (вспомните: скорость электрона пропорциональна корню из напряжения). Для удобства рассуждений это *воображаемое* меньшее напряжение называют «напряжением на экране». Пока количество выбиваемых из люминофора вторичных электронов равно количеству первичных, электроны луча ничем не тормозятся и влетают в люминофор с полной скоростью, приобретенной при пролете через ЭОС. При этом напряжение на экране равно анодному напряжению.

Напряжение, при котором часть электронов уже неспособна покинуть люминофор, называется к р и т и ч е с к и м. При дальнейшем повышении анодного напряжения количество вторичных электронов продолжает уменьшаться, напряжение на экране снижается. Чем выше анодное напряжение и, следовательно, чем выше скорость первичных электронов при выходе из ЭОС, тем сильнее они тормозятся перед экраном отрицательным зарядом «лишних» электронов в люминофоре, которых в нем скапливается тем больше, чем выше анодное напряжение.

В результате скорость первичных электронов перед ударом в слой люминофора оказывается соответствующей критическому напряжению независимо от того, какова была их *начальная* скорость: летели быстрее — затормозились сильнее. Поэтому при росте анодного напряжения энергия электронного луча в момент удара в люминофор остается неизменной. Вот почему и яркость свечения экрана не возрастает, если анодное напряжение *выше* критического: напряжение на экране остается *равным* критическому.

Для применяемых в кинескопах люминофоров критическое напряжение примерно равно 14 000 *в*.

Алюминированный экран

Повышение яркости экрана путем увеличения тока электронного луча — путь нежелательный не только потому, что увеличение тока приводит к ухудшению четкости изображения, но также и потому,

что чем больше ток, тем быстрее истощается катод, и долговечность кинескопа уменьшается. Поэтому особенно соблазнительно увеличивать яркость, повышая анодное напряжение: при этом четкость изображения не ухудшается. Кроме того, *прежний* уровень яркости обеспечивается при *меньшем* токе луча и долговечность кинескопа возрастает. Но повышать анодное напряжение можно только до тех пор, пока не будет достигнуто критическое напряжение экрана, далее яркость повысить не удастся.

Меры борьбы с этим явлением были найдены почти сразу же после того, как были изучены и поняты его причины. Найденный способ борьбы с критическим напряжением экрана не только прост, но и изящен. Заключается он в следующем. Нужно, чтобы электроны влетали в слой люминофора с полной энергией при любых анодных напряжениях. Для этого необходимо, чтобы каждая точка экрана была соединена с анодом. А так как люминофор — диэлектрик, то надо от анода подвести контакт к каждой точке экрана. Такова идея. А вот как она осуществляется. В процессе изготовления кинескопа, еще до установки электронно-оптической системы в его горловине, из баллона (уже с люминофором и графитовым покрытием) откачивают воздух. Затем помещенный заранее в баллон кусочек металла алюминия разогревают, плавят и испаряют в безвоздушном пространстве внутри баллона. Алюминий оседает тонким слоем на внутренней поверхности экрана и конуса. Вот и все! Алюминий — отличный проводник электричества. Поэтому конус уже не покрывают изнутри сплошь слоем графита. У современных кинескопов конус выглядит, как посеребренный или никелированный изнутри. Это и есть слой алюминия. На внутренней поверхности экрана на слое люминофора алюминий образует тончайшую пленку. Ее толщина всего 0,0002 *мм*, в 250 раз тоньше человеческого волоса!

В результате распыления алюминия вся внутренняя поверхность готового кинескопа оказывается соединенной с выводом анода и находится под полным анодным напряжением — в том числе и каждая точка экрана. У кинескопов с алюминированным экраном напряжение на экране всегда равно анодному напряжению и электроны ударяются в люминофор с полной энергией, которая тем выше, чем выше анодное напряжение. Правда, часть своей энергии электроны вынуждены расходовать на пробивание пленки алюминия. Любопытно, что эта потеря энергии тем меньше, чем выше анодноенапряжение: быстрым электронам легче пробить слой алюминия. Так, при анодном напряжении меньше 5 000 *в* электроны расходуют на проход сквозь алюминий практически всю свою энергию и экран почти не светится. При анодном напряжении 10 000 *в* электроны влетают в люминофор уже со скоростью, соответствующей 8 000 *в*, израсходовав на пленке алюминия только пятую часть энергии, а при напряжении 16 000 *в* они теряют всего 5—6% энергии. В алюминированном экране не образуется избытка электронов, так как все те электроны, которые могли бы стать вторичными в неалюминированном кинескопе, просто уходят из люминофора на алюминиевую пленку и по ней — на вывод анода.

Электрическая цепь через кинескоп с алюминированным экраном замыкается по простому пути: минус источника анодного напряжения — катод — электронный луч — экран (он же анод) — плюс источника анодного напряжения. Из-за потерь электронами энергии при прохождении сквозь слой алюминия алюминирование экранов

дает тем больший выигрыш в яркости, чем выше анодное напряжение (рис. 13).

Но алюминирование экранов позволило улучшить многие качества кинескопа, а не только яркость. Толщина слоя люминофора на экране невелика — не более 0,5 *мм*. Слой люминофора полупрозрачен, как матовое стекло. Непрозрачным, толстым делать его нельзя, потому, что тогда мы просто не увидим на экране изображения — весь свет будет идти от экрана только назад — внутрь кинескопа. От полупрозрачного слоя люминофора свет идет как вперед — в сторону телезрителей, так и назад. При этом полезно используется около половины световой энергии; идущий внутрь кинескопа свет от экрана в основном освещает внутренность телевизора — вполне излишняя роскошь! Но с этим еще можно было бы мириться. Хуже другое: идущий от экрана назад свет частично отражается от стенок конуса и возвращается снова на экран. Если бы экран был плоским, если бы у конуса было плоское, параллельное экрану дно и если бы свет от экрана шел только перпендикулярно плоскости самого экрана, то отраженный конусом свет возвращался бы снова в ту же точку экрана, из которой вышел. На самом деле ни одно из этих условий не выполняется: экран не плоский, а выпуклый, конус еще более выпуклый (для лучей света внутри кинескопа обе эти поверхности вогнутые); и свет от каждой светящейся точки экрана распространяется во всех направлениях. В результате свет, идущий от какой-то точки экрана внутрь кинескопа, отразившись от поверхности конуса в разных местах, вернется на экран в самые различные точки. Если по характеру передаваемого в данный момент изображения эти точки должны быть темными, то, когда на них упадет свет, отраженный от конуса, они темными не окажутся (рис. 14, *а*).

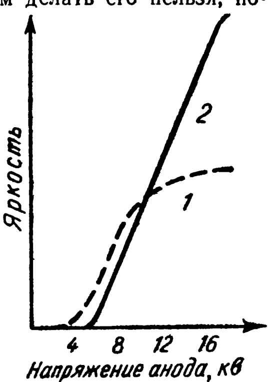


Рис. 13. Зависимость яркости свечения экрана кинескопа от анодного напряжения.

1 — в кинескопе с неалюминированным экраном; *2* — в кинескопе с алюминированным экраном.

Так как светящихся точек на экране бесчисленное множество, и свет каждой отражается от разных мест конуса, то фактически вся поверхность экрана равномерно засвечена изнутри. Яркость такой засветки незначительна по сравнению с исходной, основной яркостью экрана, и светлые места изображения от дополнительной засветки почти не станут ярче, но *темные* места изображения *посветлеют*. При этом уменьшится разница между яркостью светлых и темных мест изображения, т. е. понизится его *контрастность*. Эти недостатки полностью ликвидируются тем же самым алюминированием экрана.

Толщина слоя алюминия на экране (0,0002 *мм*) выбрана с таким расчетом, чтобы электроны расходовали на преодоление этого слоя как можно меньше энергии; в то же время слой должен быть непрозрачным для света.

В результате алюминирования вплотную к слою люминофора прилегает как бы зеркало, которое весь световой поток из каждой

точки экрана направляет только вперед — к зрителю (рис. 14, *б*). От этого фактическая яркость алюминированного экрана почти в 2 раза выше, чем неалюминированного. Но так как у алюминированного экрана весь свет идет вперед, то внутри кинескопа нет отраженных световых лучей и ничто изнутри не засвечивает экран. Поэтому и контрастность изображения на алюминированном экране

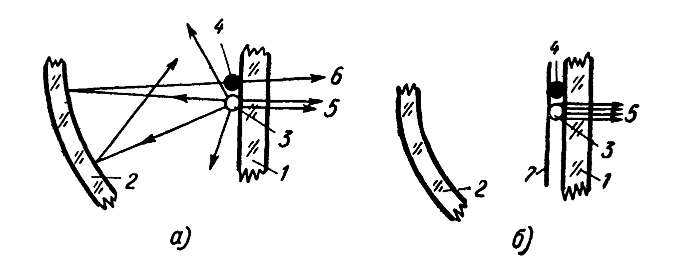


Рис. 14. Повышение яркости и контрастности изображения при алюминировании экрана.

а — неалюминированный экран; *б* — алюминированный экран; *1* — часть экрана; *2* — часть конуса; *3* — светящаяся (возбужденная электронами) частица люминофора; 4 — соседняя несветящаяся точка люминофора; *5* — полезный свет в сторону зрителей; *6* — вредный свет в сторону зрителей отраженный от конуса); *7* — пленка алюминия.

в несколько раз выше, чем на неалюминированном. Кроме того, графитовое покрытие внутри конуса содержит много газов, постепенно выделяющихся внутрь кинескопа и портящих его. Алюминиевое покрытие не только не выделяет газы, но и является неплохим газопоглотителем. Алюминирование экранов в сочетании с рядом других усовершенствований позволило повысить долговечность кинескопов в 5—6 раз.

При введении алюминирования экранов была попутно решена еще одна задача — борьба с *ионной бомбардировкой* экрана.

Как бы тщательно ни удаляли воздух из кинескопа при его изготовлении, как бы энергично ни работали газопоглотители в кинескопе, в нем все же имеется небольшое количество молекул остаточных газов. Если такая случайная молекула сталкивается с электронным лучом, то от сильного удара она мгновенно превращается в ион — заряженную частицу. Большинство остаточных газов при ионизации превращается в отрицательные ионы, которые под действием электростатических полей в кинескопе начинают двигаться по тем же путям, как и электроны, уже не хаотически, а целеустремленно и ускоренно в сторону экрана. Ионы, образующиеся в результате столкновений молекул газа с электронным лучом после главной линзы, уже не встречают на своем пути ускоряющих полей (эти поля остались позади — в электронно-оптической системе) и постепенно притягиваются на графитовое покрытие как самый положительный электрод поблизости. Такие ионы не вредны. Но если ионы образуются где-то вблизи катода, то они тоже фокусируются главной линзой и идут в сторону экрана сходящимся пучком. Такие ионы при-

чиняют много неприятностей. Обладая массой в десятки тысяч раз большей, чем масса электрона, они приобретают скорость в сотни раз меньшую (вспомните: скорость заряженной частицы обратно пропорциональна корню квадратному из ее массы). Ионы медленно передвигаются тем же путем, что и быстро летящие электроны. Они также неторопливо проходят и через область магнитных полей отклоняющей системы, практически не изменяя своего пути: ведь радиус окружности, по которой магнитное поле отклоняет заряженные частицы, примерно пропорционален тому же корню квадратному из их массы; ионы, в десятки тысяч раз более тяжелые, чем электроны, отклоняются в сотни раз слабее их. Более или менее сфокусированный пучок ионов попадает поэтому в центр экрана. Пусть ионов немного, но все время, пока работает кинескоп, они бомбардируют одно и то же место и постепенно разрушают люминофор: на экране образуется грязновато-желтое или темное пятно размером в несколько миллиметров, причем в самом центре экрана.

Для борьбы с ионной бомбардировкой до недавнего времени в электронно-оптические системы вводили так называемые *ионные ловушки*. Для создания такой ловушки ЭОС составлялась их двух частей, наклоненных одна к другой под определенным углом, так что ось ЭОС приобретала вид ломаной прямой (рис. 15). В первой части находились катод, модулятор, ускоряющий электрод и начало анода, а все последующие электроды составляли вторую часть. Снаружи на горловине кинескопа, над местом поворота оси ЭОС, размещался магнит, поворачивающий электронный луч на тот же самый угол. Ионы не реагировали на этот магнит, упрямо шли вперед, не меняя направления, и натыкались на боковую стенку цилиндра анода, на чем их «деятельность» в кинескопе и заканчивалась.

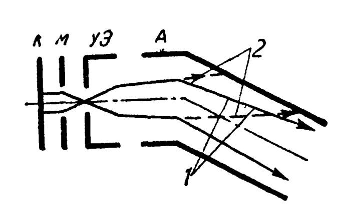


Рис. 15. Ионная ловушка.

К — катод; *М* — модулятор; *УЭ* — ускоряющий электрод; *А* — анод; *1* — пути электронов; *2* — пути ионов. Магнитное поле направлено перпендикулярно плоскости рисунка.

Ионные ловушки усложняли конструкцию кинескопа и обращение с ним: приходилось долго двигать магнит ионной ловушки вдоль горловины и вращать его вокруг нее, пока экран не начинал светиться — это означало, что, наконец, найдено то положение магнита, при котором он поворачивает электронный луч именно туда и именно настолько, насколько это нужно, чтобы пройти все цилиндры электронно-оптической системы на экран.

Алюминиевая пленка на экране совершенно непроницаема для ионов. Таким образом, алюминирование экрана, предложенное как мера борьбы с критическим напряжением люминофора, одновременно повысило яркость изображения, улучшило его контрастность, увеличило долговечность кинескопов и сделало ненужными ионные ловушки. Правда же, нельзя не назвать такое решение проблемы изящным!

Надо ли гасить свет в комнате

Свет в зале медленно гаснет, и занавес начинает раздвигаться. С этого начинается спектакль в каждом театре и сеанс в любом кинотеатре. А есть ли необходимость погружать зрительный зал в темноту?

Театральные зрительные залы стали затемнять во время действия совсем недавно — в конце прошлого века. Сделано это было для того, чтобы зрители смотрели на сцену, а не на наряды своих соседей. Выключать свет оказалось возможным только после того, как зрительные залы стали освещаться электричеством. Попробуйте-ка быстро затемнить и вновь осветить многоярусный зал с помощью свечей! Поэтому, пока не было электрических ламп, спектакли в течение всей многовековой истории театра исправно шли при освещенных залах. На открытых сценах от амфитеатров Древней Греции до зеленых театров в наших парках культуры спектакли до сего времени идут при внешнем освещении.

В кинотеатрах же свет во время сеанса гасить необходимо, и вот почему. Действие на сцене театра, карандашный рисунок на бумаге, иллюстрации в книге, любительский фотоснимок — это явления или изображения, состоящие из *светлых* и *темных* мест. А на экране кинотеатра изображение состоит не из светлых и темных мест, а из мест *освещенных* и *неосвещенных*. В этом вся разница. Чем ярче осветить рисунок внешним светом, тем легче его рассмотреть. Сцену театра ярко освещают прожекторы. Но если яркий внешний свет будет падать на экран в кинотеатре, то изображение на нем исчезнет, так как неосвещенные места изображения тоже будут освещены. Правда, если яркость светлых мест изображения на экране очень высока, намного ярче освещения в зале, то на экране эти светлые места еще можно различить, но все промежуточные оттенки («полутона») серого пропадут, и рассмотреть что-нибудь на таком изображении будет почти невозможно.

Те же самые особенности присущи и изображению на экране кинескопа. Яркость и контрастность изображения на экранах первых моделей телевизоров были настолько невысокими, что все лампы в комнате приходилось выключать. Конечно, это неудобно. А если во время телепередачи кому-то из членов семьи необходим свет? А как быть, если передача идет не вечером, а в яркий солнечный день? С темными шторами на окнах летом тоже особенно долго не высидеть из-за духоты.

Маленькая настольная лампочка, конечно, не осветит экран настолько, чтобы изображение исчезло. Но светлый абажур этой лампочки или щель в оконной занавеске, вообще любой яркий предмет в комнате многократно отражаются в экране, и эти четкие отражения тоже мешают смотреть. Если у вас или ваших знакомых есть телевизор с кинескопом старого типа, с круглым экраном (диаметр 18, 23, 31 или 40 *см*), проделайте маленький опыт: поднесите к экрану (светящемуся или несветящемуся неважно) зажженную спичку и посмотрите, сколько отражений огонька спички вы увидите. Я не ошибусь, если скажу: *четыре*, потому что огонек спички или изображение любого другого светлого предмета будет отражаться от четырех поверхностей: наружной и внутренней поверхностей экрана, да еще от двух поверхностей находящегося перед экраном защитного стекла, (зачем оно нужно, мы узнаем позже). Если бы в экране

отражался один абажур лампочки, это было бы полбеды, а точнее — даже «четверть беды». Но ведь отражаются в экране четыре абажура, и каждый мешает смотреть передачу.

Алюминирование экрана этому горю не помогло и даже несколько ухудшило положение. Хотя яркость и контрастность изображения на алюминированном экране сильно возросли, экран стал непрозрачным. И если раньше хотя бы часть света от внешних источников (из комнаты) проходила сквозь люминофор и пропадала где-то в глубинах кинескопа и телевизора, то алюминиевое зеркало за люминофором стало очень охотно и интенсивно отражать зрителям в глаза весь свет из комнаты. При этом темные места изображения иногда выглядели даже светлее, чем на неалюминированном экране.

Выход и из этого затруднительного положения был найден, хотя и не сразу, а постепенно. Сначала решили покончить хотя бы с одним отражением из четырех. Для этого внутреннюю поверхность стекла экрана стали делать шероховатой, матовой. На четкости передаваемого изображения это не сказалось, потому что слой люминофора плотно прилегает к внутренней поверхности стекла (положите матовое стекло на страницу книги матовой стороной вниз, и вы спокойно сможете читать текст). Но отражение внешнего света от матовой поверхности уже не дает четкого изображения предмета, отражается только рассеянный свет. Так было покончено с одним отраженным изображением светлых предметов в комнате, но сохранилось отражение рассеянного света от внутренней поверхности экрана.

Следующей задачей было ослабление яркости этого отраженного от экрана света. Ведь для нас важно не то, как ярко экран освещен снаружи, а как ярка та часть внешнего света, которая, отражаясь от экрана, попадает в наши глаза. Для уменьшения яркости отраженного от экрана света экраны кинескопов стали изготавливать не из бесцветного, а из окрашенного в серый цвет, дымчатого стекла. Пусть свет, проходя сквозь такое стекло, уменьшает свою яркость, скажем, в 2 раза. Свет от внешних источников проходит сквозь такое стекло дважды, прежде чем попасть нам в глаза: сначала из комнаты сквозь стекло до слоя люминофора и второй раз — отразившись, обратно сквозь стекло. При этом начальная яркость внешнего света уменьшается уже в 4 раза, а это существенно.

Введение такого дымчатого (иногда говорят «контрастного») стекла дало, опять-таки попутно, улучшение фактической четкости изображения, и вот почему. Свет от каждой точки люминофора идет не только прямо вперед, но и вбок — косо сквозь стекло экрана. При этом вокруг каждой светящейся точки на экране виден ореол — более слабое, но тоже яркое колечко с нерезкими краями. Такие ореолы сильно мешают смотреть изображение, они как бы размывают контуры предметов. Особенно это заметно в мелких деталях изображения. При использовании дымчатого стекла лучи света, идущие косо, проходят больший путь по нему, их яркость ослабевает значительно сильнее, чем лучей, идущих прямо вперед, и ореолы практически исчезают. Дымчатое стекло ослабляет, конечно, и яркость полезного свечения экрана, но качество изображения на экране тем не менее улучшается: ведь свет люминофора проходит сквозь стекло только один раз, а внешний свет — два раза; поэтому яркость изображения снижается намного меньше, чем яркость отраженного внешнего света.

Сначала пропускание света стеклом экрана составляло около 70%, т. е. яркость изображения при прохождении сквозь стекло по-

нижалась на 30%, а яркость отраженного внешнего света — вдвое. Дальнейшее повышение анодного напряжения в связи с введением алюминирования экранов и усовершенствование электронно-оптических систем привели к тому, что кинескопы стали обладать большим запасом яркости, т. е. четкость изображения сохранялась даже при более высокой яркости, чем это приемлемо для глаз. Тогда пропускание света стеклом экрана было уменьшено, и у современных кинескопов оно близко к 45%. При этом изображение, проходя через стекло, уменьшает свою яркость примерно в 2 раза, зато яркость отраженного внешнего света становится меньше в 5 раз. При дымчатом стекле засветка темных мест изображения внешним светом настолько ничтожна, что телепередачу можно было бы смотреть в светлом помещении. Но этому продолжали мешать отражения от передней и задней поверхностей защитного стекла. А зачем вообще нужно это защитное стекло, и нельзя ли от него отказаться?

Взрывозащита

Вечером, после трудового дня, уютно посидев перед телевизором, за чайным столом или с интересной книгой, усталые люди ложатся спать и спокойно засыпают. И вдруг...

Только с разрывом гранаты или мелкой бомбы можно сравнить грохот при самопроизвольном взрыве большого кинескопа. Не удивительно, что такой неожиданный удар вызывает ужас у проснувшихся в панике людей, а иногда приводит к обморокам и даже к инфарктам. Когда же полусонные люди приходят в себя и понимают, что это только взорвался кинескоп в их собственном телевизоре, они еще не знают, что вся внутренность телевизора буквально разворочена силой взрыва, и предстоит долгий и дорогой ремонт.

Чтобы бороться с такими взрывами, нужно прежде понять, отчего они происходят. Вам, наверное, случалось разбивать перегоревшую электрическую лампочку накаливания. Такая лампочка, разбиваясь, тоже издает довольно громкий хлопок. Но самопроизвольно лампочки лопаются очень редко, хотя толщина их стеклянных стенок — доли миллиметра, а толщина экрана кинескопа, как уже говорилось, 8—10 *мм*. Как из лампочки, так и из кинескопа тщательно откачан воздух. Поэтому и лампочка, и кинескоп постоянно и сильно сжаты атмосферным давлением. Лампочка, конечно, гораздо меньше кинескопа, и поэтому атмосферное давление сжимает ее с меньшей силой (атмосферное давление равно 1 *кгс/см*^{2} поверхности; чем меньше поверхность, тем меньше и сжатие). Но и по своей форме лампочка — шар с горловиной — очень устойчива против сжатия. Вообще, шар — наиболее сопротивляющаяся сжатию форма.

Первые небольшие кинескопы с круглым экраном были по своей форме похожи на лампочки. Самопроизвольных взрывов у таких кинескопов не наблюдалось, однако случайный удар по экрану приводил к взрыву, причем осколки стекла могли разлетаться довольно далеко и поранить телезрителей. Поэтому уже самые первые телевизоры имели перед экраном достаточно прочное небьющееся защитное стекло. Дальнейшее увеличение размеров кинескопов с круглым экраном никаких изменений в конструкции телевизоров в этом отношении не повлекло: самопроизвольных взрывов не было, защитное стекло предохраняло кинескоп от случайных повреждений, а зрителей — на всякий случай — от осколков. Яркость и контрастность изо-

бражения были настолько невелики, что телепередачи нужно было смотреть в затемненной комнате, и защитное стекло не мешало. Правда, некоторые владельцы телевизоров замечали, что изображение постепенно становится все более и более мутным; но только самые предприимчивые люди вынимали телевизор из футляра и убеждались, что в промежутке между экраном и защитным стеклом много пыли. Удалить пыль, конечно, было нетрудно, но вынимать каждый раз для этого телевизор из футляра — не слишком легкое и приятное развлечение.

Когда появились кинескопы с прямоугольными экранами, и размеры этих экранов стали возрастать а особенно когда появились кинескопы с большими углами отклонения луча, все чаще от владельцев телевизоров стали поступать тревожные сообщения о самопроизвольных взрывах кинескопов. Нужно сказать, что защитные стекла оказались достаточно прочными. Но внутренности телевизора, а также нервы владельцев (что гораздо важнее) переносили взрывы очень тяжело.

К этому времени кинескопы выпускались уже с алюминированными экранами, с высокой яркостью и контрастностью, и защитные стекла перед экраном становились досадной помехой. Но разве можно было отказаться от защитного стекла, когда по данным мировой статистики на каждые десять тысяч кинескопов происходил в среднем один самопроизвольный взрыв! А в это время уже разрабатывались новые типы кинескопов с еще более плоскими экранами, с еще более прямоугольной формой, еще большие по размерам. Следовало опасаться, что количество самопроизвольных взрывов у таких кинескопов будет еще выше. И тогда пришлось заняться изучением причин этих непонятных и страшных самопроизвольных взрывов. Разгадка оказалась простой.

Возьмите обыкновенный ученический глобус и попытайтесь сплющить его, сжав ладонями. Не думаю, чтобы вам это удалось. А теперь возьмите хорошую, прочную коробку из-под обуви (она сделана из картона примерно такой же толщины, что и глобус) и сожмите ее ладонями: одна ладонь — под дном, другая — поверх крышки. Вам даже не понадобится сжимать коробку со всей своей силой — она расплющится легко. При этом дно и крышка слегка промнутся посредине, а борта коробки выгнутся наружу.

В результате работ, направленных на достижение все большей компактности телевизора, кинескоп постепенно становился все менее похожим на своего далекого предка — шарообразную лампочку накаливания (тот же глобус) и все ближе приближался к форме параллелепипеда (коробка из-под обуви).

На кинескоп с почти плоским экраном и чуть менее плоским конусом атмосферное давление, конечно, действует со всех сторон. Но поверхности экрана и конуса, расположенного напротив экрана, гораздо больше, чем поверхность боковых стенок баллона кинескопа. Поэтому экран и конус сдавливаются атмосферным давлением с такой силой, что боковые стенки начинают растягиваться и стремятся как бы выпучиться наружу так же, как борта коробки при сжатии ее крышки и дна (рис. 16). Стекло хорошо сопротивляется сжатию и гораздо хуже — растяжению. Если на боковых поверхностях баллона имеются какие-нибудь мелкие дефекты, например царапинки, то под воздействием сил растяжения они удлиняются, углубляются и, наконец, превращаются в трещины. Трещины резко ослабляют прочность боковых поверхностей баллона, атмосферное давление, на-

конец, сплющивает кинескоп, и он взрывается. При взрыве осколки стекла экрана летят в сторону конуса (внутрь телевизора), а навстречу им летят осколки конуса. Весь процесс разрушения кинескопа, как показала высокоскоростная киносъемка, длится одну-две сотые доли секунды, а осколки разлетаются с начальными скоростями до сотен метров в секунду! Конечно, такое стремительное разрушение достаточно массивного (несколько килограммов) баллона сопровож-

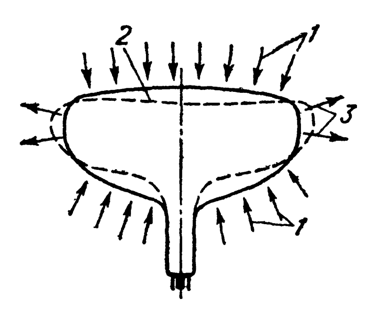


Рис. 16. Действие атмосферного давления на кинескоп.

1 — направление сжатия баллона; *2* — форма, которую баллон кинескопа стремится принять под воздействием сжатия атмосферным давлением; *3* — силы растяжения.

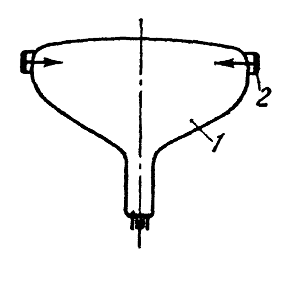


Рис. 17. Принцип действия системы взрывозащиты.

1 — кинескоп; *2* — бандаж взрывозащиты. Стрелка показывает направление усилий сжатия, оказываемых бандажом на баллон кинескопа для компенсации усилий растяжения от атмосферного давления.

дается оглушительным шумом; если на пути разлетающихся осколков окажется человек, то он может очень сильно пострадать. Как только все это было установлено, сразу стало ясно, что необходимо предпринимать: нужно сжать боковые поверхности баллона так, чтобы те силы, которые растягивают поверхности, были полностью нейтрализованы (рис. 17).

Может ли взрывобезопасный кинескоп все-таки взорваться, пусть не самопроизвольно, а, например, при ударе? Все зависит от того, что понимать под взрывом. Если имеется в виду мгновенное разрушение всего баллона со скоростным разлетом осколков на большое расстояние, то нет, не может. Если же понимать под взрывом просто разрушение с большим шумом и образованием осколков... Может ли, по-вашему, взорваться стул? Вы считаете, что нет. Но если стул бросить с восьмого этажа, он с большим шумом разлетится на куски. Так вот, если взрывобезопасный кинескоп выбросить с восьмого этажа, он тоже разлетится на куски — он все-таки стеклянный.

Как только появилась уверенность в полной надежности системы взрывозащиты кинескопов, так немедленно все модели телевизоров с такими кинескопами начали выпускаться без защитных стекол. В результате вместо четырех четких отражений в экране телевизора осталось только одно, а мы уже говорили, что это не беда, а только «четверть беды». По-настоящему без помех смотреть телевизионные передачи в светлом помещении стало возможно только после перехода на взрывобезопасные кинескопы. В настоящее время ни один

кинескоп с размером диагонали экрана 40 *см* и выше, с углом отклонения луча 90° и более не выпускается без системы взрывозащиты.

В заключение рассказа об усовершенствовании кинескопов черно-белого телевидения интересно сравнить основные данные массовых кинескопов крупных размеров, выпущенных до и после всех рассмотренных нами нововведений.

Тип кинескопа	31ЛК2Б	59ЛК2Б
Год начала выпуска	1954	1964
Экран	Круглый	Прямоугольный алюминированный
Размер изображения, *см*	18×24	38,5×49
Угол отклонения луча, *град*	52	110
Длина кинескопа, *см*	48,3	36,2
Стекло экрана	Прозрачное	Контрастное матированное
Взрывозащита	Нет	Есть
Яркость, *нт*	50	120
Контрастность	40—50	150—200
Долговечность, *ч*	750	3 000

А теперь начнем знакомиться с цветными кинескопами.

ГЛАВА ПЯТАЯ

Кинескопы цветного телевидения

Инженеры — удивительные люди. Они никогда не довольны полностью тем, что уже достигнуто. Только-только было ими создано очередное чудо нашего века — телевидение, еще далеки были от совершенства черно-белые кинескопы, но уже начались работы по созданию цветного телевидения.

Ученые точно установили, что собаки не различают цвета. Если бы люди, как и собаки, видели все в одном цвете, никому бы, конечно, не пришло в голову создавать цветное телевидение. Но тогда инженеры придумали бы что-нибудь еще, например передачу изображения одновременно не только со звуком, но и с соответствующим запахом.

Мы, люди, к счастью, хорошо различаем цвета. Однако, прежде чем знакомиться с кинескопом цветного телевидения, надо хорошо понимать, что же такое *цвет*.

Разноцветный мир

Весь безграничный Космос заполнен волнами энергии, излучаемой бесчисленными звездами. Все эти волны несутся с огромной скоростью (300 000 *км/сек*) и пробегают гигантские расстояния. По своей природе эти волны одинаковы — это электромагнитные колебания. Чем выше вал («амплитуда») каждой волны, тем больше ее энергия. По мере удаления волны от ее источника амплитуда постепенно уменьшается, энергия излучения ослабевает. Но у каждой волны

есть особое свойство, не меняющееся за все время ее существования: это *длина волны*, т. е. расстояние между вершинами соседних валов. Хаос идущих во всех направлениях колебаний различной энергии и с различными длинами волн обрушивается из Космоса на нашу Землю. Но толстый слой земной атмосферы непроницаем для большинства длин волн, и лишь некоторые из них легко, почти без потери энергии достигают земной поверхности.

Сотни миллионов лет назад, на заре зарождения жизни на Земле, примитивные животные организмы научились в ходе борьбы за существование ощущать это проникающее на поверхность Земли электромагнитное облучение и стали пользоваться им для того, чтобы легче разбираться и ориентироваться в окружающей их обстановке бесконечных опасностей. Мы далекие потомки этих первых неуклюжих созданий, унаследовали от своих предков способность ощущать пронизывающие земную атмосферу и облучающие Землю электромагнитные колебания: *мы видим свет*. Только в конце прошлого века человечество поняло, что свет — это электромагнитные колебания с длинами волн от 400 до 760 *ммкм*, что есть колебания с большей длиной волн — инфракрасные, которые мы воспринимаем не как свет, а как тепло, и еще более длинные — радиоволны; есть колебания с длиной волн, меньшей световых, — ультрафиолетовые, и еще более короткие — рентгеновские.

Световые волны ничем не отличаются от других электромагнитных волн, кроме того, что волны этой длины свободно проходят через земную атмосферу.

Собаки, да и многие другие животные, как уже было сказано, не различают цвета. Видя все окружающее одноцветным, они различают предметы только по разнице в их освещенности, т. е. яркости света, отражаемого этими предметами. А яркость — это амплитуда (высота вала) световой волны. Может быть, предыдущая фраза показалась вам несколько мудреной, и вы подумали: как можно что-нибудь рассмотреть, различия только яркость? Прекрасно можно. Рисунок, иллюстрация в книге, кадр телепередачи на экране телевизора — все это черно-белые, т. е. *одноцветные* изображения. И в одном цвете можно рассмотреть все или почти все. Но цветное красивее! Да и не только красивее — цветное зрение, цветное изображение дает гораздо более полное представление об окружающем, а раз более полное, то и более правильное. Много дополнительных сведений несет с собой цвет. Приведем простой пример: зеленый и красный сигналы светофора требуют от нас совершенно разных движений, разного поведения в зависимости только от цвета. Так что же такое цвет?

Световые волны различаются своей длиной. Каждую длину волны наши глаза воспринимают в виде какого-либо цвета. Таким образом для нашего зрения тот или иной цвет представляет собой световой луч с определенной длиной волны. Самые длинные из воспринимаемых нашими глазами волн дают темно-красный (вишневый) цвет. По мере укорочения волн мы видим цвета в следующем порядке: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Более коротких волн наши глаза не видят. Так как среди видимого света существуют все возможные (в пределах от 400 до 760 *ммкм*) длины волн, то каким-то длинам волн соответствуют (опять-таки в наших глазах) и промежуточные цвета: красно-оранжевый, желто-зеленый, голубовато-синий и т. д. Ну, а белый цвет? Тот белый цвет полуденных солнечных лучей, который так ярко все освещает?

Более 300 лет назад великий ученый Ньютон пропустил белый луч солнечного света через стеклянный трехгранник — призму. Из призмы вышел веер лучей всех цветов — от фиолетового до темно-красного. Этот веер (теперь говорят «спектр») с помощью другой призмы можно снова собрать в луч белого цвета. Из своих опытов Ньютон, даже не зная о том, что же такое по своей физической сущности свет и цвет, сделал верный вывод: белый цвет — это совокупность всех видимых цветов. Как мы знаем, цвет — это световой луч с определенной длиной волны. В этом смысле белого цвета не существует, так как нет определенной «волны белого цвета».

Почти все окружающее нас в природе не является источником света. Мы видим потому, что каждый предмет отражает свет, приходящий от какого-либо источника, и отражает по-разному. Трава, например, представляется нам днем зеленой потому, что она из всех освещающих ее лучей белого солнечного света *отражает* только зеленый. На закате, когда лучи солнца светят уже не белым, а красноватым светом, в этих лучах почти нет зеленого. Траве нечего отражать, и она кажется нам почти черной. Ведь чернота — это отсутствие света. Любая *краска* придает окрашенному ею предмету способность отражать соответствующие лучи с определенными длинами волн. Вот что такое цвет непрозрачных предметов.

А прозрачные цветные предметы (например, цветные стекла) кажутся нам такими потому, что они *пропускают* световые лучи только с определенными длинами волн, а остальные поглощают. Так, красное стекло, вставленное в фонарь, которым мы пользуемся при занятиях фотографией в темной комнате, пропускает из всего света лампочки только красные лучи, и за это мы называем такое стекло красным.

Если ночью осветить луг с цветущими ромашками зеленым светом (прожектором с зеленым стеклом) или просто днем смотреть на тот же луч через зеленое стекло (это почти одно и то же), то цветы ромашки перестанут выделяться на фоне травы: отражая все цвета, их лепестки обычно представляются нам белыми; сквозь зеленое стекло, они и его отразят и будут казаться нам зелеными. При рассматривании того же луга через красное стекло получится совсем иная картина: трава отражает только зеленые лучи, эти лучи не пройдут сквозь красное стекло, и трава будет казаться нам черной, а лепестки ромашек покажутся красными. Когда рядом с ромашкой окажется ярко-красный цветок мака, то сквозь красное стекло и мак, и ромашка будут нам представляться одинаково яркими и имеющими один и тот же цвет. Если же на лугу сидит девушка в белом платье с красными узорами, то нам сквозь красное стекло покажется, что на платье никаких узоров нет: от белого платья сквозь стекло к нам в глаз пройдут лишь красные лучи и от красных узоров — тоже красные, а красное на красном, конечно, неразличимо.

Как создается цветное изображение

Два века назад наш великий соотечественник М. В. Ломоносов разработал теорию трехцветного зрения. Согласно этой теории человеческий глаз различает только три разных цвета, называемых *основными*: красный, зеленый и синий. В глазу имеется три типа нервных окончаний: один тип реагирует только на красный цвет, другой —

только на зеленый, третий — только на синий. Белый свет воспринимают все три типа нервных окончаний сразу (каждый только «свою» часть белого). Все прочие цвета создаются в нашем мозгу в результате различных сочетаний основных цветов и различий в яркости этих же основных цветов. До сих пор никому не удалось экспериментально доказать правильность этой теории. Но в то же время неизвестно ни одного явления, которое бы этой теорией не объяснялось или противоречило бы этой теории. На этой блестящей (хотя и не доказанной) теории основаны все существующие способы получения цветных изображений. Цветные иллюстрации в книгах и журналах, цветная фотография, цветное кино и, наконец, цветное телевидение стали возможны только благодаря этой теории.

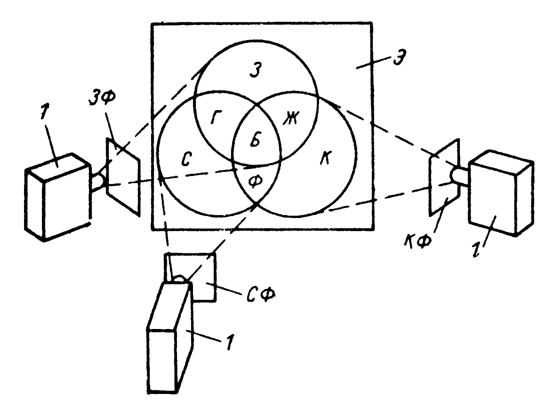


Рис. 18. Образование промежуточных цветов при сложении трех основных.

1—проекционный фонарь; *ЗФ* — зеленый светофильтр; *СФ*—синий светофильтр; *КФ* — красный светофильтр; *Э* — экран. Участки разных цветов на экране: *С*—синий; *З* — зеленый; *К* — красный; *Г* — голубой; *Ж* — желтый; *Ф* — фиолетовый; *Б* — белый.

Явление образования промежуточных цветов из трех основных называется *сложением* цветов, потому что новый цвет возникает в результате именно сложения основных цветов. Очень интересный и красивый опыт по сложению цветов, из которого сразу все становится ясно, можно проделать дома, если у вас и ваших знакомых найдутся три детских проекционных фонаря для диафильмов. Кроме них понадобятся три пластинки цветного целлулоида или стекла: красная, зеленая и синяя. Такие пластинки (светофильтры) можно найти в магазинах учебных пособий или в крайнем случае сделать самим, покрасив кусочки кальки цветной тушью или акварельными красками соответственно в ярко-красный, ярко-синий и ярко-зеленый цвет.

Из каждого проектора надо вынуть рамку для диафильма, надеть на их объективы приготовленные пластинки (по одной на объектив) и поставить все проекторы перед одним общим экраном. От каждого проектора на экране появится светящийся круг — красный, зеленый и синий. Теперь сдвиньте проекторы так, чтобы эти круги частично перекрывали один другой и внимательно посмотрите, что получилось (рис. 18). Участок экрана, освещенный всеми тремя проекторами сразу, будет светиться белым светом. Значит, совокупность красного, синего и зеленого действительно воспринимается нашим глазом, как белый свет. Участок, освещаемый сразу красным и зеленым лу-

чами, примет желтый цвет (в спектре желтый располагается между красным и зеленым, поэтому он как бы «сродни» обоим этим цветам). Участок, на который падает одновременно синий и зеленый свет, имеет по той же причине голубой цвет. И, наконец, участок, освещенный сразу красным и синим лучами, выглядит фиолетовым. Три основных цвета создали четыре новых по цвету участка: белый, желтй, голубой и фиолетовый. Налицо практически все цвета спектра.

Опыт можно усложнить. Для этого надо иметь возможность плавно менять яркость каждого из основных цветов. Лучше всего это достигается путем изготовления серых фильтров переменной плотности. Это полоски кальки, которые по всей длине затушеваны мягким черным карандашом с разными оттенками, от светло-серого до черного. Того же можно достичь, постепенно окрашивая полоску кальки разбавленной черной тушью. Передвигая такую полоску перед объективом проектора, можно изменять яркость его луча, не меняя цветности, что для нашего опыта очень важно.

Затемняя такими фильтрами по очереди луч каждого проектора, мы получим на экране все промежуточные цвета (голубовато-зеленый, желто-зеленый, оранжевый, малиновый) и оттенки (темно-красный, темно-синий, темно-зеленый). Таким образом, имея три основных цвета и обладая возможностью менять только *яркость* каждого, мы способны получать *любые* цвета.

У наших глаз есть одна любопытная особенность. Если достаточно маленькие цветные пятнышки расположены достаточно близко одно к другому так, что глаз не различает отдельных точек, то и тогда в нашем глазу происходит сложение цветов. Так, очень близко расположенные одна к другой и перемешанные синие, красные и зеленые светящиеся точки создают впечатление белого. Все другие промежуточные цвета образуются при этом так же, как и на экране в свете трех проекторов. Явление сложения цветов соседних точек разного цвета часто обманывает нас при наблюдении издали за людьми в разноцветной одежде, например кажущееся издали желтым платье вблизи оказывается красно-зеленым, а белая кофточка с синим рисунком издали кажется голубой.

Синяя, зеленая и красная области как бы делят весь спектр видимых лучей на три примерно равные части. Ведь в обычном понимании, например, синий цвет — это не световые лучи с одной какой-то вполне определенной длиной волны, а целая зона, диапазон световых лучей, близких по длине волн; такова же более длинноволновая зеленая зона и еще более длинноволновая красная зона. Поэтому и белый цвет, который на самом деле состоит из волн всех цветов, получается почти белым, если его создавать только из трех цветов, каждый из которых характерен для начала, середины и конца спектра соответственно.

Можно получить почти белый цвет и от сложения всего двух цветов, если разделить спектр условно не на три, а всего на две зоны: сине-зеленую и желто-красную. Синевато-голубой и желтый цвета тоже создают в глазу впечатление почти белого, хотя это «почти» и будет дальше от идеального белого, чем сочетание трех основных цветов.

Примером такого белого, получаемого сложением синевато-голубого и желтого цветов, служит экран каждого кинескопа черно-белого телевидения. Если вы помните, при рассмотрении такого светящегося экрана через сильную лупу хорошо видно, что он состоит из светящихся синих и желтых точек.

Как телепередатчик различает цвета

В самом начале мы уже говорили, что «глаз» телепередатчика воспринимает лишь изменения яркости отдельных мест «рассматриваемого» объекта. Следовательно, «глаз» телепередатчика, как и глаз собаки, не различает цветов.

Но представим себе, что телепередатчик удалось усовершенствовать, и его «глаз» теперь цвета различает. Это значит, что, например, зеленые и красные предметы одинаковой яркости передатчик будет воспринимать как-то по-разному, т. е. вырабатывать различные сигналы. Но сигналы передатчика — это просто непрерывно меняющееся по своей величине напряжение. Поэтому если передатчик, например, сильнее реагирует на красный цвет, чем на зеленый, то при одинаковой яркости красного и зеленого предметов он выработает более сильный сигнал при «просмотре» красного. Приемник сигналов — телевизор при этом не сможет различить, на какой цвет реагировал передатчик: ведь если от красного идет более сильный сигнал, то от более яркого зеленого пойдет столь же сильный сигнал, как от менее яркого красного! Поэтому нет никакого смысла разрабатывать телевизионные передатчики, которые были бы способны различать цвета; этой их способностью все равно нельзя было бы воспользоваться.

По указанной выше причине при передаче цветного изображения используют совершенно иной принцип: разделение цветов, или получение *цветоделенных* изображений. Что это такое?

Рассматривая цветущий луг через красное стекло, мы убедились, что белые и красные предметы при этом неразличимы и являются самыми светлыми, т. е. самыми яркими на изображении. Зеленые и синие предметы, отражающие соответственно зеленые и синие лучи, кажутся нам при этом более или менее темными и собственного цвета уже не имеют: они выглядят более или менее темно-красными. Эти предметы кажутся нам не совсем черными потому, что наряду с основным отражаемым цветом (у травы — зеленым) каждый предмет на самом деле отражает немного и белый цвет, который состоит из всех цветов, в том числе и красного. Эта малая доля присутствующего в белом красного цвета и дает нам впечатление неполной черноты зеленого предмета, так как проходит сквозь красное стекло и попадает в наш глаз. Желтые серединки цветов ромашки отражают желтый цвет, который, как мы убедились из опыта с тремя проекционными фонарями, является результатом красного и зеленого цветов. Через красное стекло проходит только «красная половина» желтого цвета. Так как это только половина света, отражаемого центром ромашки, то он будет казаться нам не таким светлым, как ее лепестки. Изображение луга, которое мы видим сквозь красное стекло, является красным цветоделенным изображением.

Не будем столь же подробно обсуждать, что мы увидели бы, рассматривая тот же луг сквозь зеленое и синее стекла; надеюсь, что и так уже ясно: красное, зеленое и синее цветоделенные изображения будут достаточно разными. В частности, расположение светлых и темных участков на каждом таком изображении окажется различным. Во всех трех изображениях совпадают только расположение и очертания белых мест, так как только белый цвет проходит сквозь любое цветное стекло.

Каждое одноцветное изображение мы обычно называем черно-белым. Но каждое из трех цветоделенных изображений — тоже одно-

цветное: черно-красное, черно-синее и черно-зеленое. А так как «глаз» телепередатчика не различает цветов, то для него безразлично, находится перед ним черно-белое изображение или черно-красное; «рассматривая» его по точкам, он по-прежнему будет реагировать только на изменения их яркости. Поэтому каждый передатчик цветного телевидения имеет три передающие трубки. Перед каждой из них установлен светофильтр: перед одной — красный, перед другой — синий, перед третьей — зеленый. В каждый момент времени сигналы, вырабатываемые трубками при «просмотре» цветоделенных изображений, различны, так как расположение светлых и темных мест в этих изображениях неодинаково, кроме тех моментов, когда все три трубки «смотрят» на белые места изображений (рис. 19).

Сигналы каждой трубки можно передать на различных длинах волн. В цветном телевизоре принятые три сигнала нужно усилить в трех отдельных каналах. Усиленные сигналы необходимо каким-то способом сложить и тем самым совместить создаваемые ими цветоделенные изображения (черно-красное, черно-синее и черно-зеленое) в одно цветное изображение того объекта, который находится перед телепередатчиком. Такова в самом общем виде схема передачи и приема цветного изображения в телевидении.

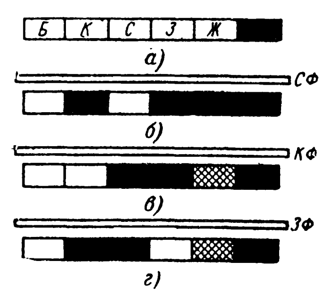


Рис. 19. Образование различных цветоделенных сигналов в телепередатчиках цветного телевидения.

а — передаваемый разноцветный объект; *б* — сигнал от передатчика с синим светофильтром; *в* — сигнал от передатчика с красным светофильтром; *г* — сигнал от передатчика с зеленым светофильтром. Участки разных цветов на объекте: *Б* — белый; *К* — красный; *С* — синий; *З* — зеленый; *Ж* — желтый; черным показан участок черного цвета на объекте. Светофильтры разных цветов: *СФ* — синий; *КФ* — красный; *ЗФ* — зеленый.

Цветное изображение на экране

На первый взгляд, самым простым и естественным способом получить цветное изображение является такой путь: в телевизоре должны быть три кинескопа, у которых экраны светятся соответственно красным, синим и зеленым цветом; в остальном такой кинескоп ничем не должен отличаться от обычного черно-белого.

На модулятор каждого кинескопа подают соответственные принятые и усиленные сигналы: красный, зеленый или синий, т. е. сигналы передающих трубок, закрытых светофильтрами таких цветов. Затем цветоделенные изображения, полученные на экранах кинескопов (черно-красное, черно-синее и черно-зеленое), проектируют с помощью объективов и зеркал на общий экран. Когда проектируемые три изображения полностью совпадут, на этом экране образуется настоящее цветное изображение. Почему это произойдет?

Пусть, например, перед телепередатчиком стоят четыре артистки. У каждой — юбка своего цвета: у одной — красная, у другой — синяя, у третьей — зеленая и у четвертой — желтая. Блузки на всех артистках белые. Передающая трубка, прикрытая красным светофильтром, в этом случае выработает сильные сигналы от ярких для

нее мест: от всех четырех блузок и от красной юбки и, кроме того, более слабый сигнал от желтой юбки (вспомните про цветок ромашки!). В результате экран «красного» кинескопа будет светиться ярко-красным цветом в местах, соответствующих четырем кофточкам и красной юбке; желтая юбка даст темно-красный цвет. Трубка с зеленым фильтром даст сильные сигналы от всех блузок и зеленой юбки, а также слабый сигнал от юбки желтой, и экран «зеленого» кинескопа будет светиться в этих местах ярко-зеленым и темно-зеленым цветом. Наконец, трубка с синим фильтром передаст сильные сигналы тоже от четырех кофточек и от синей юбки; желтую юбку она не «увидит», так как эта юбка сквозь синий фильтр выглядит черной. Соответственно будет светиться экран «синего» кинескопа.

Теперь совместим на общем экране все три изображения. В результате места, где должны находиться блузки, освещены лучами от каждого кинескопа, т. е. сразу синим, красным и зеленым светом. В наших глазах, как мы знаем, это создает впечатление белого. Место красной юбки освещено только красными лучами — ведь другие две трубки передатчика юбку не «увидели». Место зеленой юбки освещено только зеленым светом, а место синей юбки — только синим. Место желтой юбки освещено сразу лучами, приходящими от двух кинескопов — красного и зеленого, а это создает впечатление желтого. Яркость изображения желтой юбки на красном и зеленом экранах вдвое слабее истинной (сигнал был слабым) На общем экране эти яркости складываются и желтая юбка будет такой же яркой, как все остальные.

Однако телевизоры с тремя кинескопами не получили распространения, несмотря на простоту идеи. Оказалось, что система оптического совмещения всех трех изображений на одном общем экране получается слишком сложной, а такой телевизор очень дорогим. Инженерная мысль была вынуждена пойти другим путем. Оказалось необходимым создать устройство, которое совмещало бы все три цветоделенных изображения на экране *одного* кинескопа. На помощь пришло свойство нашего глаза складывать цвета не только тогда, когда разноцветные лучи попадают в одну точку экрана, но и когда *соседние* точки светятся *разными* цветами (помните, что красно-зеленое платье издали кажется нам желтым?).

Существуют разные типы кинескопов цветного телевидения, но во всех этих типах тем или иным способом осуществляется один и тот же принцип: на одном общем экране создаются три цветоделенных изображения, которые почти (это очень важно: именно почти, а не точно) совпадают; каждая точка экрана при этом светится только одним цветом — красным, синим или зеленым. Сложение цветов происходит не на экране, а только в нашем глазу. Наибольшее распространение во всем мире и в Советском Союзе получили кинескопы с *теневой маской*. С таким кинескопом мы сейчас и начнем знакомиться.

Цветной кинескоп с теневой маской снаружи очень похож на обычный кинескоп черно-белого телевидения. И не только снаружи: электронный луч создается и фокусируется на экране в цветном кинескопе такой же электронно-оптической системой; точно так же конец электронного луча движется на экране по строкам и кадрам с помощью катушек отклоняющей системы. Как и в черно-белом кинескопе, экран цветного кинескопа алюминируется; стекло экрана — контрастное (дымчатое); на кинескопе закреплен бандаж взры-

возащиты. Одним словом, все усовершенствования черно-белых кинескопов применены и в кинескопах цветного телевидения.

Но если присмотреться внимательнее к цветному кинескопу, то можно заметить и два отличия. Во-первых, в его горловине находится не одна, а *три* электронно-оптические системы; во-вторых, слой люминофора на экране не сплошной, а состоит из отдельных точек, разделенных промежутками. Эти точки расположены на экране не в хаотическом беспорядке, как синие и желтые точки на экране черно-белого кинескопа, а образуют правильно выложенную мозаику (рис. 20). Каждые три соседние точки, образующие вершины крошечного равностороннего треугольника, называемого «триадой», состоят из *разных* люминофоров. При возбуждении электронным лучом одна точка светится красным цветом, другая — синим и третья — зеленым. Размер каждой точки около 0,3 *мм*, расстояние между центрами соседних точек тоже около 0,3 *мм*. На экране цветного кинескопа с размером 59 *см* по диагонали находится примерно 600 000 точек каждого цвета. Значит, всего на экране почти два миллиона точек, расположенных в строгом порядке. Мозаика, да к тому же ювелирная! В горловине кинескопа имеются три электронно-оптические системы; нетрудно догадаться, что на один модулятор подается «красный» сигнал, на другой — «зеленый» и на третий — «синий». Но, пробегая по такому мозаичному экрану, электронный луч каждой электронно-оптической системы станет последовательно облучать точки и синего, и зеленого, и красного цвета свечения, и в результате на экране возникнет не цветное изображение, а сплошной хаос.

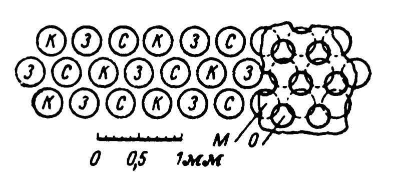


Рис. 20. Строение экрана цветного кинескопа с теневой маской. Вид изнутри кинескопа при сильном увеличении.

К, З, С — точки люминофоров с красным, зеленым и синим цветом свечения; *М* — часть теневой маски; *О* — отверстие в маске.

Чтобы получить на экране цветное изображение, необходимо, чтобы луч каждой электронно-оптической системы попадал только в те точки, на которые нанесен соответствующий люминофор, например луч, промодулированный «красным» сигналом, — в точки с люминофором красного цвета свечения и т. д. Для этой цели и предназначена теневая маска. Она представляет собой тонкий стальной лист такой же выпуклой формы, как внутренняя поверхность экрана, и располагается внутри кинескопа, на пути электронных лучей, в нескольких миллиметрах от поверхности люминофора. В теневой маске имеется столько же отверстий, сколько триад на экране. Каждое отверстие диаметром тоже около $^1/_3$ *мм* находится точно против центра каждой триады точек (рис. 20). Если смотреть прямо сквозь отверстие в маске на экран, то точки люминофора почти не видны, они загорожены краями отверстия. Но если смотреть сквозь отверстие в маске сбоку (под углом к его оси), то в каком-то одном положении сквозь отверстие будет видна только точка красного люминофора, в другом — синего и в третьем — зеленого.

Все три электронно-оптические системы цветного кинескопа не лежат в одной плоскости: их оси наклонены по отношению к оси горловины на небольшой угол, около 1°, образуя ребра пирамиды.

Основание этой пирамиды — равносторонний треугольник, стороны которого параллельны сторонам каждой триады на экране. Вершина пирамиды — точка пересечения осей всех трех электронно-оптических систем (и, следовательно, точка пересечения всех трех электронных лучей, летящих вдоль этих осей) — совпадает с центром самого центрального отверстия в маске (рис. 21). Таким образом, каждый луч подходит к маске под своим углом; встретившись в отверстии, все три электронных луча идут дальше каждый своим путем, т. е. снова расходятся. Все размеры и расстояния в цветном кинескопе рассчитаны таким образом, что каждый электронный луч, пройдя отверстие в маске, попадает в «свою» точку люминофора на экране, т. е. в точку «своего» цвета свечения.

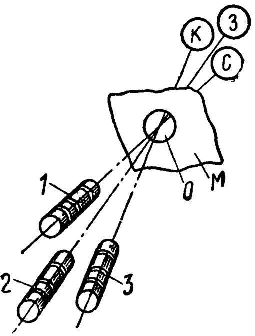


Рис. 21. Электронный луч каждой электронно-оптической системы цветного кинескопа попадает благодаря теневой маске только на «свой» люминофор.

1, 2, 3 — электронно-оптические системы; *М* — часть маски; *О* — одно из отверстий в маске; *К, З, С* — точки люминофоров красного, зеленого и синего свечения, расположенные напротив отверстия *О* (одна триада).

Несмотря на большую точность, соблюдаемую на всех операциях изготовления цветного кинескопа, практически невозможно изготовить кинескоп так, чтобы все три луча сошлись, встретились даже в одном, центральном отверстии маски и, вновь разойдясь, попали каждый на точку люминофора «своего» цвета. Поэтому, подобно тому как на кинескопе черно-белого телевидения устанавливается магнит центровки, на горловине цветного кинескопа приходится закреплять целую систему корректирующих магнитов. Эти магниты (их шесть) могут по мере надобности так изменять пути электронных лучей (каждого в отдельности и всех трех сразу, в нужной степени), чтобы обеспечить однородность цвета свечения экрана, т. е. одноцветность его при возбуждении по очереди каждым электронным лучом.

Рассмотрим подробнее действие этих магнитов (рис. 22). Если напряжение, поданное на модулятор, почти полностью запирает кинескоп, то мощность электронного луча так ничтожна, что при выключенной системе отклонения луч не прожигает люминофор, хотя бомбардирует все время одно и то же место экрана. При этом на экране видна слабо светящаяся точка — след неотклоненного электронного луча. Если на цветном кинескопе отсутствуют корректирующие магниты, то луч каждой электронно-оптической системы создает на экране свою светящуюся точку и точки эти, как правило, не только не сливаются в одну, но находятся на разных расстояниях (до 10—12 *мм*) друг от друга. Три электронно-оптические системы в кинескопе заканчиваются общим для всех них цилиндром сводящей системы (рис. 22), изготовленным, как и прочие электроды ЭОС, из немагнитной нержавеющей стали. В боковых стенках этого цилиндра имеются щели, в которые введены пластинки из магнитной стали

(полюсные наконечники) так, что каждый электронный луч проходит между двумя соседними наконечниками. Снаружи на горловине кинескопа закрепляют три цилиндрических магнита, каждый с двумя магнитопроводами, продолжением которых в кинескопе являются полюсные наконечники, упомянутые выше. В результате между соседними полюсными наконечниками возникает магнитное поле, направленное так, что электронный луч начинает смещаться в сторону оси горловины. Если вращать цилиндрический магнит между магнитопроводами, то меняется напряженность магнитного поля и, следовательно, величина смещения электронного луча. Когда полюсы магнита направлены точно в торцы магнитопроводов, напряженность магнитного поля максимальна; когда полюсы магнитов перпендикулярны торцам магнитопроводов, магнитное поле практически отсутствует. Поворот магнита на 180° меняет направление магнитного поля на противоположное: если в каком-то положении магнита электронный луч отклонялся в сторону оси горловины, то при повороте маг-

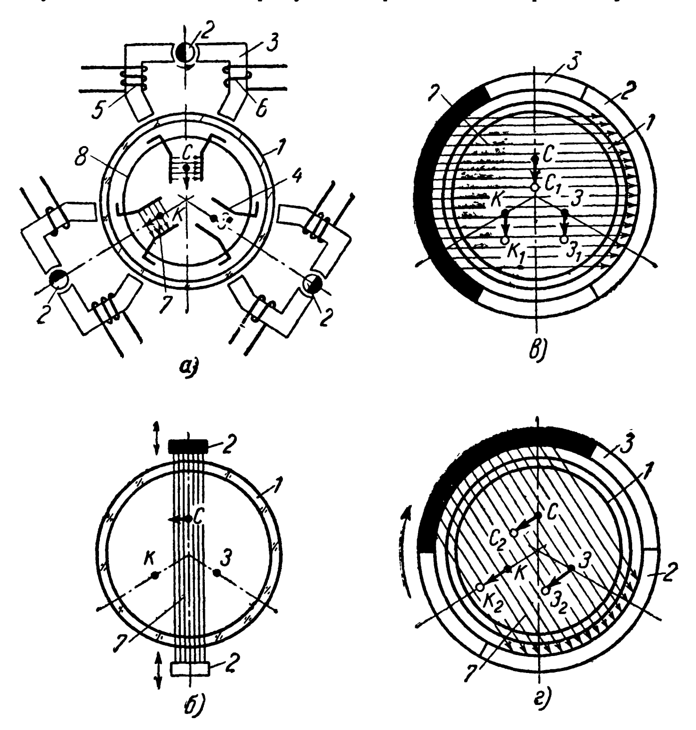


Рис. 22. Принцип действия магнитов корректировки. Вид от экрана.
а — магниты радиального сведения лучей; *б* — магнит «синего» луча; *в* и *г* — магнит чистоты цвета; *1* — горловина кинескопа в разрезе; *2* — магнит (северный полюс показан черным); *3* — магнитопровод; *4* — полюсный наконечник; *5* — катушка с током строчной развертки; *6* — катушка с током кадровой развертки; *7* — направление магнитного поля; *8* — цилиндр сводящей системы; *С*, *З*, *К* — сечения «синего», «зеленого» и «красного» электронных лучей; $С_1$, $З_1$, $К_1$ и $С_2$, $З_2$, $К_2$ — положения сечений электронных лучей при воздействии на них поля магнита чистоты цвета в двух разных его положениях.

нита на 180° он отклонится на то же расстояние, но в противоположном направлении, к стенке горловины.

Эти магниты сдвигают электронные лучи по радиусам горловины и называются поэтому магнитами радиального сведения лучей (рис. 22, *а*). Они предназначены для сближения светящихся точек на экране, причем две точки всегда возможно свести вместе. Тогда два электронных луча начинают проходить сквозь одно и то же отверстие в маске. Но совместить все три светящиеся точки, перемещая их только радиально, обычно не удается. Один из лучей необходимо сдвигать еще и в боковом направлении. Во всем мире принято такие действия совершать с электронным лучом «синей» ЭОС, и для этого существует так называемый магнит синего луча. Этот магнит расположен над «синей» ЭОС несколько ближе к катоду, чем магниты радиального сведения; его поле направлено по диаметру горловины и поэтому перемещает луч не в радиальном, а в дуговом направлении (рис. 22, *б*).

Меняя напряженности полей магнитов радиального сведения и синего луча, можно заставить все три электронных луча проходить сквозь одно отверстие в центре маски, но и этого оказывается недостаточным для того, чтобы экран имел одноцветное свечение. Если после совмещения всех трех светящихся точек включить отклоняющую систему, экран будет светиться по-прежнему разноцветными пятнами, даже если два луча полностью запереть. Происходит это главным образом потому, что пути электронных лучей в кинескопе неизбежно отличаются от расчетных. На помощь приходят еще два магнита чистоты цвета (рис. 22, *в*, *г*). Они подобны магниту центровки луча в черно-белом кинескопе, представляют собой охватывающие горловину кольца с полюсами в противоположных концах диаметра, располагаются еще ближе к катодам, чем магнит синего луча, вплотную друг к другу, и в отличие от остальных четырех магнитов воздействуют сразу на все три луча. Если полюсы обоих магнитов-колец совпадают (северный полюс одного — рядом с северным полюсом другого, и южные полюсы — тоже рядом), напряженность магнитного поля максимальна. Когда рядом находятся противоположные полюсы, то магнитное поле практически отсутствует. Магниты чистоты цвета могут сдвигать сразу все три луча в любом направлении. Поворот одного магнита относительно другого изменяет величину сдвига лучей от оси горловины, а поворот сразу обоих магнитов на какой-то угол вокруг горловины изменяет направление сдвига.

В результате регулировки всех шести магнитов (три магнита радиального сведения, один — синего луча и два — чистоты цвета) экран цветного кинескопа начинает светиться одним цветом. Открывая поочередно каждую ЭОС, мы будем видеть или только красное свечение, или только синее, или только зеленое.

Но и этого еще недостаточно для того, чтобы получить хорошее цветное изображение. У цветного кинескопа, как и у кинескопа черно-белого, одна отклоняющая система. Но так как через зону отклонения в цветном кинескопе проходят три электронных луча, то образуется и три центра отклонения (ведь центр отклонения — это воображаемая точка пересечения оси электронно-оптической системы с осями строчных и кадровых катушек отклонения). Поэтому электронный луч каждой ЭОС (проще и, пожалуй, понятнее говорить «электронный луч каждого цвета») отклоняется немного по-своему и вырисовывает на экране кадр, на котором контуры изображения не совпа-

дают с контурами, создаваемыми двумя другими электронными лучами. Не совпадают и границы кадров. Это несовпадение почти не заметно в центре экрана и увеличивается по мере приближения к его краям. В результате на краю изображения темный ствол дерева, например, распадается на три ствола: красный, синий и зеленый.

Чтобы этого не происходило, на магнитопроводах каждого магнита радиального сведения закрепляют две катушки: одна питается током, идущим одновременно на катушки строчной развертки отклоняющей системы, а другая — током катушек кадровой развертки. В результате магниты радиального сведения работают не только как постоянные магниты, но и как электромагниты, причем работают строго в такт, синхронно с отклоняющей системой. Такое *динамическое сведение* электронных лучей обеспечивает хорошее совпадение кадров по всему полю экрана: электронные лучи сходятся вместе в каждом из 600 000 отверстий маски и расходятся за отверстием в «свои» точки люминофоров.

Цветной кинескоп с теневой маской — это, по существу, три отдельных, самостоятельно управляемых кинескопа в одном общем стеклянном баллоне. У каждого такого кинескопа имеется своя электронно-оптическая система и экран своего цвета свечения. Все три кинескопа как бы втиснуты один в другой — это видно по строению экрана. Теневая маска создает в каждой точке экрана как бы внутренние перегородки, отгораживающие один кинескоп от другого.

Когда на каждый модулятор цветного кинескопа подается соответствующий («свой») сигнал от телецентра, то каждый электронный луч создает на экране свое цветоделенное одноцветное изображение — черно-красное, черно-синее и черно-зеленое. Эти изображения почти совпадают своими контурами на экране: одно изображение сдвинуто относительно другого на величину расстояния между вершинами одной триады (треть миллиметра). Такое несовпадение ничтожно и практически неощутимо. В наших глазах эти три отдельных изображения складываются и создается впечатление, что на экране только одно настоящее цветное изображение. Если же на все три модулятора подавать один и тот же общий сигнал, то на экране цветного кинескопа появится черно-белое изображение.

Мы рассмотрели наиболее простой способ получения изображения на экране цветного кинескопа. Чаще в цветном телевидении применяется более сложная методика, но в конечном результате на экране цветного кинескопа также создаются три цветоделенных изображения, которые складываются *у нас в глазах* в одно светящееся всеми цветами радуги.

К середине шестидесятых годов кинескопы черно-белого телевидения достигли высокой степени совершенства. За последние годы не возникла потребность ни в одном сколько-нибудь серьезном улучшении черно-белых кинескопов.

Цветные кинескопы еще далеко не так совершенны. В черно-белом кинескопе буквально ни один вылетающий с катода электрон не теряется понапрасну и вся мощность электронного луча идет на возбуждение свечения люминофора. В цветном кинескопе с теневой маской каждый электронный луч пробегает не по слою люминофора, а по поверхности самой маски, периодически «проваливаясь» сквозь ее отверстия на нужные точки люминофора. Это является основным недостатком таких кинескопов: до 85% электронов расходуется бесполезно, на электронную бомбардировку маски, и только 15% — на возбуждение люминофора. Поэтому для получе-

ния возможно большей яркости свечения экрана цветные кинескопы работают при гораздо более высоких напряжениях, чем кинескопы черно-белые, до 25 000 *в*. Но тем не менее для получения достаточно высокой яркости приходится с каждого катода цветного кинескопа отбирать больше электронов в луч, чем в черно-белом кинескопе. Если суммарный ток всех трех лучей цветного кинескопа будет равен току луча черно-белого кинескопа с тем же размером экрана, то яркость свечения экрана цветного кинескопа будет примерно в 6 раз меньше. Это обстоятельство наряду с газовыделением из маски, нагреваемой электронной бомбардировкой, приводит к тому, что долговечность цветных кинескопов пока меньше, чем черно-белых. Цветные кинескопы достаточно сложны в изготовлении; сложно устроены и цветные телевизоры. Но усовершенствование цветных кинескопов и телевизоров идет непрерывно и быстро. И нет никакого сомнения в том, что скоро цветной телевизор станет в каждом доме таким же привычным, как в настоящее время черно-белый.

Послесловие

Исаак Ньютон, наблюдая за падением спелых яблок с ветвей дерева, открыл закон всемирного тяготения.

Джеймс Уатт, наблюдая, как пар приподнимает крышку кипящего чайника, изобрел паровую машину.

Пусть это только легенды, но в них кроется глубокий смысл. Постепенно познавая мир, ученые пытались в первую очередь понять причины обычных, знакомых явлений, с которыми мы повседневно встречаемся. Понимая и объясняя эти причины, ученые открывали законы природы и старались применить их к нуждам человечества.

Так развивалась физика, так создавалась техника.

Принципы действия приборов и машин, основанных на явлениях, знакомых нам по повседневной жизни, поэтому легко понять и нетрудно объяснить даже детям.

«Тут, ребята, вся штука в паре... Пар действует... Он, стало быть, прет под энту штуку, что около колес, а оно и тово... этого... и действует...» — так старается сапожник объяснить нищим ребятишкам работу паровоза в рассказе А. П. Чехова «День за городом». Легко объяснить, как работает паровоз. Нетрудно рассказать, как действует двигатель внутреннего сгорания, пылесос или токарный станок. Объясняя их работу, легко найти примеры или сравнения, аналогии из нашего житейского опыта. С принципом действия электромотора уже труднее. Попробуйте-ка подыскать среди знакомых явлений аналогию вращающемуся электромагнитному полю!

И вот перед нами кинескоп.

Тонкие и сложные явления электронной физики, невидимые таинственные поля, невидимые потоки невидимых заряженных частиц, возбуждение этими частицами атомов люминофора... Где найти аналогии этим процессам в повседневной жизни? Как без таких аналогий объяснить работу кинескопа, чтобы его принцип действия стал понятен? Можно ли это сделать, не вульгаризируя законы физики? И вдобавок ко всему надо не только, чтобы стало понятно, как работает кинескоп — надо, чтобы было интересно про это читать.

Справился ли автор со своей задачей — пусть судят читатели. И если хотя бы некоторые из вас, прочитавших эту книгу, посмотрят на экран своего телевизора немного иначе, чем раньше, автор будет считать свою задачу выполненной.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Глава первая. **Как создается изображение** . . . 4

Почему изображение можно передавать и принимать только последовательно 4
Изображение создается по строчкам 6
Как получается движущееся изображение . . . 7

Глава вторая. **«Электронный карандаш»** 8

Как рисует солнечный луч 9
Источник электронов 10
Карандаш надо остро заточить 12
Как «электронный карандаш» чертит по экрану 22

Глава третья. **Экран** 25

Почему экран светится 26
От чего зависит яркость свечения экрана . . . 27

Глава четвертая. **Усовершенствование кинескопов** 29

Как устроен кинескоп 29
Критическое напряжение 32
Алюминированный экран 33
Надо ли гасить свет в комнате 38
Взрывозащита 40

Глава пятая. **Кинескопы цветного телевидения** . . 43

Разноцветный мир 43
Как создается цветное изображение 45
Как телепередатчик различает цвета 48
Цветное изображение на экране 49

Послесловие 56

Цена 18 коп.